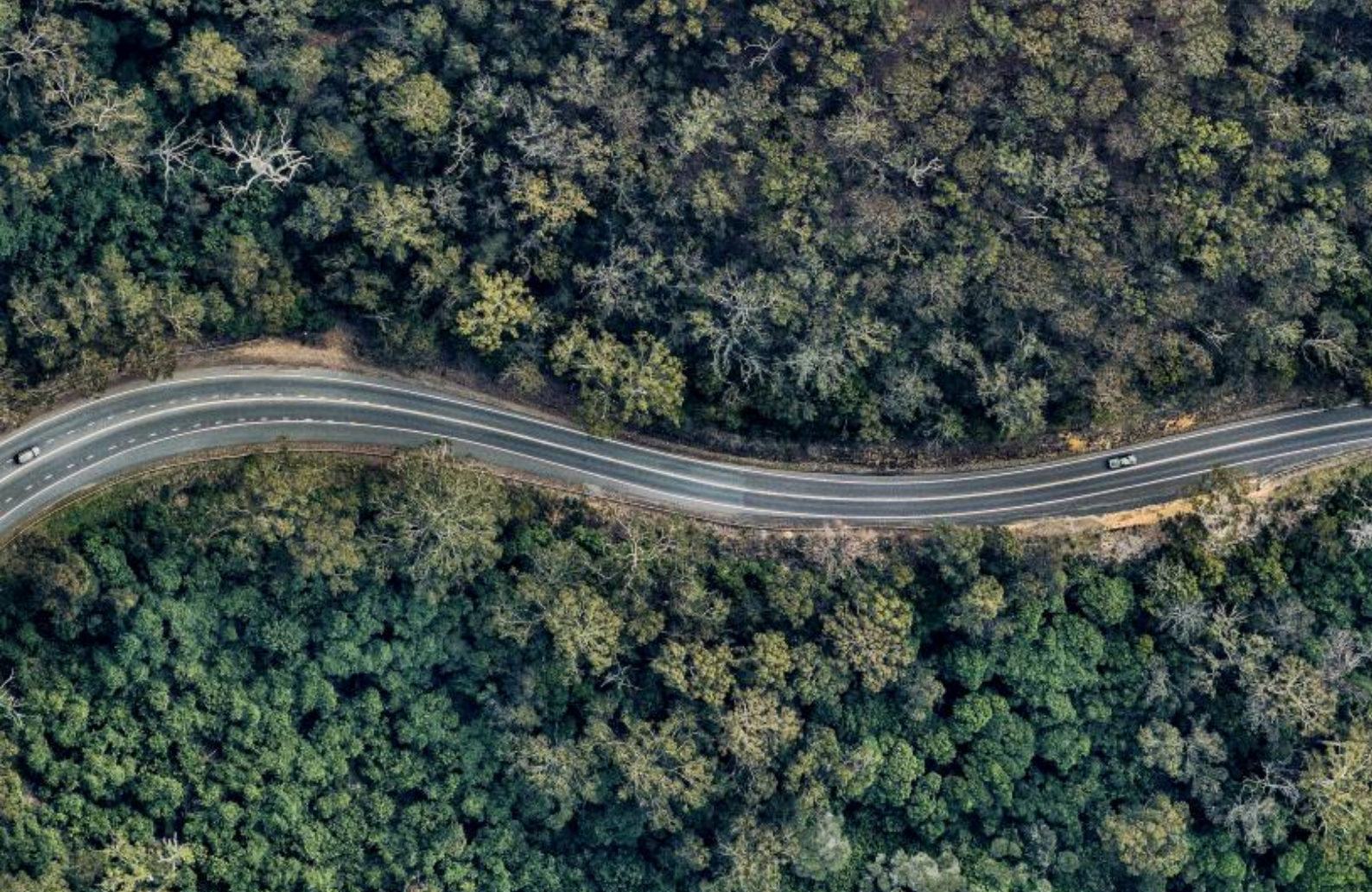




Selvitys Huoltovarmuuskeskukselle sekä Öljypoolille ja Maakaasujaostolle

Liikenteen käyttövoimien kehityksen ennuste – vaikutus polttoaineisiin ja huoltovarmuuteen

26/05/2021



AFRY
ÄF PÖYRY

Tekijät
Esa Sipilä¹, Heidi Kiuru¹, Anna Lilja¹, Nils-Olof Nylund²,
Kari Mäkelä² ja Kai Sipilä²

Päivämäärä
26/05/2021

¹AFRY Management Consulting Oy
²TEC TransEnergy Consulting Oy

Asiakas
Huoltovarmuuskeskus sekä Öljypooli ja Maakaasujaosto

Liikenteen käyttövoimien kehityksen ennuste

- vaikutus polttoaineisiin ja huoltovarmuuteen

Esipuhe

Tämä selvitys on toteutettu Huoltovarmuuskeskuksen sekä Öljypoolin ja Maakaasujaoston toimeksiannosta kevään 2021 aikana. Raportti edustaa tekijöiden näkemyksiä eikä työn ja raportin lopputulokset sellaisenaan edusta muiden ohjausryhmätoimintaan osallistuneiden yritysten, yhdistysten tai henkilöiden yhteistä näkemystä. Työn aikana ohjausryhmää ja heidän näkemyksiään on kuultu useassa kokouksessa.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoitteet ja menetelmät	1
2	Nykyinen huoltovarmuusjärjestelmä	3
3	Käyttövoimien muutosten viitekehys	5
3.1	Yleistä	5
3.2	Ajoneuvojen CO ₂ -päästörajat	7
3.3	Päästölainsäädäntö	8
3.4	Puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi	9
3.5	Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöön otosta	10
3.6	Polttoaineiden laatudirektiivi ja polttoainestandardit	10
3.7	Direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä	12
3.8	Vesiliikenteen regulaatio EU-tasolla	13
3.9	Kansalliset käyttövoimien muutosten viitekehykset Suomessa	14
4	Liikenteen käyttövoimien ja polttoaineiden nykytila ja historiallinen kehitys	17
4.1	Yleistä	17
4.2	Tieliikenne	18
4.3	Työkoneet	29
4.4	Vesiliikenne	31
5	Käyttövoimien arvioitu kehitys vuosiin 2030 ja 2040	34
5.1	Yleistä	34
5.2	Tieliikenne	35
5.3	Työkoneet	51
5.4	Vesiliikenne	56
6	Vaihtoehtoisten käyttövoimien muutosten vaikutukset huoltovarmuuteen ja varmuusvarastoihin	58
6.1	Merkittävimmät huoltovarmuuteen vaikuttavat käyttövoimien muutokset	58
6.2	Kriittiset tekijät arvoketjussa	59

6.3	Varmuusvarastoitavien tuotteiden laatu	65
6.4	Varmuusvarastoitavien tuotteiden määrä	66
6.5	Raskaan kaluston toimintavarmuus	69
6.6	Epävarmuustekijät	72
7	Huoltovarmuuden mahdollisuudet ja suositukset jatkotoimenpiteistä	74
8	Johtopäätökset	79
9	Lähdeluettelo	83
10	Liitteet	89

Kuvat

Kuva 1 Vaihtoehtoisten käyttövoimien ajurit	6
Kuva 2 Tieliikenteen CO ₂ -regulaatiokehys.	7
Kuva 3 Kotimaan polttonesteiden kulutus yhteensä jaettuna käyttövoimittain vuonna 2019 (VTT, 2019; Tilastokeskus, 2020)	17
Kuva 4 Kotimaan polttonesteiden kulutus vuonna 2019 (ktoe) (VTT, 2019; Tilastokeskus, 2020)	18
Kuva 5 Tieliikenteen polttoainejakauma 2008-2019 (ktoe/a) (Tilastokeskus, 2020).....	19
Kuva 6 Vaihtoehtoisten energioiden määrä tieliikenteessä (Tilastokeskus, 2020)	20
Kuva 7 Dieselin, bensiinin ja metaanin bio-osuuden kehitys vuosina 2008-2019 (Tilastokeskus, 2020).....	21
Kuva 8 Liikennekäytössä olevien autojen lukumäärä autoluokittain Q4/2020 (Traficom, 2021a) 22	
Kuva 9 Autojen keski-ikä kehitys (Autoalan tiedotuskeskus, 2021a).....	22
Kuva 10 Suomen henkilöautokannan käyttövoimat (Traficom, 2021a)	24
Kuva 11 Suomen henkilöautokannan vaihtoehtoiset käyttövoimat (Traficom, 2021a)	25
Kuva 12 Suomen kuorma-autokanta (Traficom, 2021a)	25
Kuva 13 Suomen kuorma-autokannan vaihtoehtoiset käyttövoimat (Traficom, 2021a)	26
Kuva 14 Henkilöautojen ensirekisteröinnit (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)	27
Kuva 15 Henkilöautojen ensirekisteröinnit - vaihtoehtoiset käyttövoimat (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)	27
Kuva 16 Kuorma-autojen ensirekisteröinnit (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)	28
Kuva 17 Kuorma-autojen ensirekisteröinnit - vaihtoehtoiset käyttövoimat (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)	29
Kuva 18 Työkoneiden polttoaineen kulutus vuonna 2019 (VTT, 2019)	30
Kuva 19 Ajettavien dieselkoneiden polttoaineen kulutus (VTT, 2019)	30
Kuva 20 Ajettavien dieseltäykoneiden keski-ikä vuonna 2019 (VTT, 2019).....	31
Kuva 21 Suomen vesiliikenteen polttoainemäärät vuonna 2019 (VTT, 2019; Traficom, 2021b) .	32
Kuva 22 Kotimaan vesiliikenteen polttoainemäärät vuonna 2019 (VTT, 2019)	33
Kuva 23 Suomessa käyneiden laivojen keski-ikä vuonna 2010 ja 2019 (VTT, 2019)	33
Kuva 24 Tieliikenteen päästöjen kehittymien perusurassa (EV - electrified vehicle).....	37
Kuva 25 Tieliikenteen energiakulutuksen kehitys LVM perusurassa.....	38
Kuva 26 Tieliikenteen energia, LVM perusura (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020).....	39
Kuva 27 Tieliikenteen energia, WAM skenaario (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)	39
Kuva 28 Sähköajoneuvojen kokonaismäärät perusurassa ja WAM-skenaariossa.....	41
Kuva 29 Metaanin määrä eri skenaarioissa.....	42
Kuva 30 Dieselpolttoaineen korvaus perävaunullisilla HPDI dual-fuel kaasukuorma-autoilla (LNG tai LBG) (VTT, 2021b)	42
Kuva 31 Polttoaineiden kokonaismäärä (perusura sähkötön) (VTT, 2021b)	43

Kuva 32 Polttoaineiden kokonaismäärä (WAM sähkötön) (VTT, 2021b)	44
Kuva 33 Sähköhenkilöautojen (ladattavat hybridit ja täyssähköautot) kokonaismäärät LVM:n perusurassa, WAM skenaarioissa ja WAM sähkömax skenaarioissa (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)	45
Kuva 34 Sähkökäyttöisen (ladattavat hybridit ja täyssähköautot) pakettiauton, linja-auton, kuorma-auton ilman perävaunua ja kuorma-auto perävaunulla kokonaismäärät LVM:n perusurassa, WAM skenaarioissa ja WAM sähkömax skenaarioissa (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)	46
Kuva 35 Liikennesähkön määrä eri skenaarioissa	47
Kuva 36 Sähköllä korvautuvat polttoainemäärät eri skenaarioissa	48
Kuva 37 Tieliikenteen polttoaineiden kulutusmäärät (fossiilinen bensiini, fossiilinen diesel, uusiutuva diesel, etanoli, fossiilinen kaasu, biometaani) eri skenaarioissa	49
Kuva 38 Uusiutuvien polttoaineiden kysyntä eri skenaarioissa	51
Kuva 39 Ajettavien dieselytökoneiden polttoaineen kulutusennuste	52
Kuva 40 Maa- ja metsätalouden työkoneiden polttoaineen kulutusennuste	53
Kuva 41 Logistiikan työkoneiden polttoaineen kulutusennuste	54
Kuva 42 Rakentamis- ja kaivostoiminnan työkoneiden polttoaineen kulutusennuste	55
Kuva 43: Projektio kansainvälisen meriliikenteen polttoaineista (IEA, 2020)	57
Kuva 44 Uusiutuvien polttoaineiden arvoketjun kriittiset tekijät huoltovarmuuden kannalta	59
Kuva 45: Viiden kuukauden kulutusta vastaavat tieliikenteen polttoainemäärät valtion varmuusvarastoissa kuudessa eri ennusteskenaariossa vuoteen 2040	67
Kuva 46 Valtion varmuusvarastoissa (5 kk) varastoitavien tieliikenteen polttoaineiden määrät polttoainetyypeittäin LVM:n perusurassa ja WAM-skenaariossa	68
Kuva 47 Valtion varmuusvarastojen velvoiteajan (kuukausina) muuttuminen suhteessa varmuusvarastoitavien tieliikenteen polttoaineiden muutoksiin	69
Kuva 48 Ajoneuvoteknologian huoltovarmuuteen vaikuttavia tekijöitä	70
Kuva 49 Vaihtoehtoisten energialähteiden huoltovarmuus	82

Taulukot

Taulukko 1 Yhteenveto tieliikenteen kiristyvistä CO ₂ -päästörajoista (Euroopan komissio, 2021a; Euroopan komissio, 2021b)	8
Taulukko 2 Yhteenvetotaulukko työssä käytetyistä skenaarioista	36
Taulukko 3 Tieliikenteen energia- ja polttoainemäärät LVM:n perusurassa ja WAM-skenaariossa	40
Taulukko 4 Kaasu- ja sähköajoneuvojen määrät LVM:n perusurassa ja WAM-skenaariossa (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020)	40
Taulukko 5: Vertailu EU kalustovertailu ennusteiden, LVM perusuran ja WAM skenaarion välillä (Krause, ym., 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)	48
Taulukko 6 Vaihtoehtoisten käyttövoimien arvoketjun kriittiset tekijät huoltovarmuuden kannalta	60
Taulukko 7 Poikkeustilanteiden vaikutus uusiutuvien energialähteiden huoltovarmuuteen	63
Taulukko 8 Varmuusvarastoinnin haasteet ja mahdollisuudet tulevaisuudessa	75

Liitteet

Liite 1 Suomen pakettiautokanta ja linja-autokanta sekä niiden vaihtoehtoiset käyttö-voimat (Traficom, 2021a)	89
Liite 2 Suomen pakettiautojen ja linja-autojen ensirekisteröinnit sekä vaihtoehtoiset käyttövoimat (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)	91
Liite 3 Kaasu- ja henkilöautojen määrät LVM:n perusennusteessa ja WAM skenaarissa	93
Liite 4 Kaasu- ja sähköajoneuvojen määrät liikenne ja viestintäministeriön perusurassa ja WAM-skenaariossa	94
Liite 5 Perusura, WAM skenario ja sähkömax vertailu eri ajoneuvoille	96
Liite A – Vaihtoehtoisten käyttövoimien teknologiat (Erillinen liitetiedosto)	

Määritelmät

ALIISA autokantamalli

LIPASTO laskentajärjestelmän autokantaa koskeva alamalli

Bi-fuel

Moottori, joka toimii vaihtoehtoisesti kahdella eri polttoaineella. Huomattava, että kaasuauto, jossa on alle 10 litran bensiinisäiliö luokitellaan kaasuautoksi.

Blending wall

Rajoite perinteisten biokomponenttien käytölle kauppalaatuisessa bensiinissä ja dieselissä (rajoittaa esimerkiksi etanolin käyttöä bensiinissä ja bensiinin happipitoisuutta)

Drop-in polttoaine

Polttoaine, joka korvaa perinteisen nestemäisen hiilivetypolttoaineen tai maakaasun ilman muutoksia jakeluun tai ajoneuvoihin. Drop-in polttoaine voi olla biopohjainen, mutta myös sähköön perustuva niin sanottu sähköpolttoaine.

Dual-fuel

Moottori, joka käyttää samanaikaisesti kahta polttoainetta. Yleensä diesel sytytyspolttoaineena ja kaasu pääpolttoaineena.

Ensirekisteröinti

Ajoneuvon ensimmäinen rekisteröinti Suomessa

Epäsuora merikuljeuts

Kuljetus, joka kulkee eurooppalaisen välisataman kautta

Flex-fuel

Bensiinimoottori, joka voi käyttää joustavasti polttoaineita bensiinistä E85 etanolipolttoaineeseen

Huoltovarmuuskeskuksen varmuusvarastot

Huoltovarmuuskeskuksen hallinnassa olevat varmuusvarastot, joiden on vastattava kolmen kuukauden tuontipolttoaineiden kulutusmäärää. Ts. yhdessä toimijoiden velvoitevarastojen (2 kk) kanssa täyttää valtion varmuusvarastoinnin viiden kuukauden normaalikulutusta vastaavat tuontipolttoainevarastot

Kevythybridi/autonominen hybridi

Tyypillisesti henkilöauto, joka on varustettu järeällä laturi/käynnistinmoottoriyhdistelmällä. Autossa sähköön talteenotto jarrutuksissa ja lievä sähköavustus kiihdytyksissä eikä mahdollisuutta ajaa pelkällä sähköllä.

Autonominen/täyshybridi pystyy kulkemaan lyhyempiä matkoja pelkällä sähköllä mutta autoa ei voi ladata verkosta

Kotimaan vesiliikenne

Laivaliikenne, joka liikennöi kahden suomalaisen sataman välillä

Ladattava hybridi (PHEV)	Bensiinimoottorin (useimmiten) ja sähkövoimalinjan yhdistelmä. Henkilöautoissa toimintamatka pelkällä sähköllä tyypillisesti 50 km. Käytännössä rajoittamaton toimintamatka polttomoottorilla
MEERI-malli	MEERI- malli on VTT:ssä kehitetty Suomen vesiliikenteen pakokaasupäästöjen ja kulutuksen laskentamalli.
MERIMA-malli	Suomen laivaliikenteen tavarakuljetusten päästöt-malli
Mono-fuel	Moottori, joka toimii vain yhdellä tietyllä polttoaineella. Termiä käytetään yleensä erikoisrakenteissa raskaan kaluston kipinäsytytys kaasumoottoreissa.
Polttokennoauto (FCEV)	Polttoaineena puhdas vety ja voimanlähteenä matalan lämpötilan polttokenno ja sähköinen voimansiirto.
Suora ulkomaan merikuljetus	Kuljetus, joka kulkee Suomen sataman ja varsinaisen pääte-tai alkusatamien väliä
Tieliikenteen energia	Muun muassa Fossiilinen bensiini, fossiilinen diesel, uusiutuva diesel, etanoli, fossiilinen kaasu, biokaasu, sähkö, vety
Tieliikenteen polttoaineet	Muun muassa fossiilinen bensiini, fossiilinen diesel, uusiutuva diesel, etanoli, fossiilinen kaasu, biokaasu
TYKO laskentamalli	Suomen työkonien päästömalli
Täyssähkö (BEV)	Toimii ainoastaan sähköllä ei varapolttainemahdollisuutta
Vaihtoehtoinen energianlähde	Vaihtoehtoiset energialähteet tarkoittavat muita kuin fossiiliseen öljyyn perustuvia energialähteitä, kuten biodiesel, biobensiini, metaani, biometaan ja sähkö
Valtion varmuusvarastot	Valtioneuvoston päätöksen (1048/2018) mukaisesti valtion tulee pitää tuontipolttoaineita valtion varmuusvarastoissa siten, että maassa on käytävissä keskimäärin viiden kuukauden normaalkulutusta vastaavat tuontipolttoainevarastot
Toimijoiden velvoitevarastot	Lain (1070/1994) mukaisesti raakaöljyn ja öljytuotteiden sekä maakaasun velvoitevarastoinnissa maahantuojan velvoitevarasto tulee vastata kahden kuukauden keskimääräistä tuontia (vuosittain 1.7 alkaen)

Lyhenteet

BEV	Battery electric vehicle, täyssähköauto
CNG	Compressed Natural Gas, Paineistettu metaani
CO₂	Carbon dioxide, hiilidioksidi
DNV	Det Norske Veritas
ECAS	Emission Control Areas, Laivaliikenteen päästöjen valvonta-alueet
EPA	Environmental Protection Agency, Ympäristönsuojeluvirasto
EU	Euroopan unioni
FAME	Fatty acid methyl ester, rasvahappometyyliesteri (perinteinen biodiesel)
HNRY	Helsingin kaupungin koordinoima hiilineutraalit ja resurssiviisaat yritysalueet-hanke
HVO	Hydrogenated vegetable oil, Parafiininen uusiutuva diesel
IEA	International Energy Agency, Kansainvälinen energiajärjestö
ILUC	Indirect land use changes, Epäsuorat maankäytön muutokset
IMO	International Maritime Organization, Kansainvälinen merenkulkujärjestö
JRC	Join Research Center, EU:n tutkimuskeskus
LBG	Liquid biogas, nesteytetty biometaani
LNG	Liquefied natural gas, nesteytetty maakaasu
LPG	Liquefied petroleum gas, nestekaasu
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, Kansainvälinen yleissopimus alusten aiheuttaman pilaantumisen ehkäisemisestä
OBD	On-board diagnostics, ajoneuvojen sisäinen diagnostiikkajärjestelmä
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle, lataushybridi
PKS	Päästökaupparektori
POK	Kevyt polttoöljy
RED II	Renewable Energy Directive, uusiutuvan energian direktiivi
SNG	Synthetic natural gas
WAM	With Additional Measures, lisätoimenpiteet (politiikkaskenaario)
VECTO	Vehicle Energy Consumption Calculation Tool, ajoneuvojen polttoaineenkulutuksen laskentatyökalu
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
ZLEV	Zero- and low-emission vehicles, nolla ja vähäpäästöiset ajoneuvot

Kuvailulehti

Tekijät	Esa Sipilä ¹ , Heidi Kiuru ¹ , Anna Lilja ¹ , Nils-Olof Nylund ² , Kari Mäkelä ² ja Kai Sipilä ² ¹ AFRY Management Consulting Oy ² TEC TransEnergy Consulting Oy		
Työn nimi	Liikenteen käyttövoimien kehityksen ennuste		
Asiasanat	Huoltovarmuus, varmuusvarastointi, liikenteen käyttövoimat		
Päivämäärä	Toukokuu, 2021	Sivuja 98	Kieli Suomi

Tiivistelmä

Tämä työ keskittyy liikenteen polttonesteiden käyttöön ja niissä tapahtuviin muutoksiin lähi-vuosikymmeninä. Suomen valtion tavoitteena on ylläpitää viiden kuukauden normaalikulu-tusta vastaavat tuontipolttoainevarastot. Varmuusvarastoinnissa painopiste on keskitisissä, joita käytetään liikenne- ja lämmityskäytössä. Muutokset liikenteen käyttövoimissa vaikutta-vat varmuusvarastoitavien polttoaineiden määriin.

Nykyään päästövähennystavoitteet ovat merkittävän liikenteen käyttövoimien muutoksia ajava tekijä. Energia- ja ilmastostrategian mukaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä tulee vähentää vuoden 2005 tasosta 50 % vuoteen 2030 mennessä. Tieliikenteen CO₂-päästöjä rajoitetaan niin EU-tasolla kuin kansallisestikin erilaisten määräyksien ja säännösten avulla.

Vuonna 2019 kotimaan polttonesteiden kulutus oli yhteensä noin 5 000 ktoe, josta tieliiken-teen polttonesteiden kulutus oli 3 990 ktoe. Vuonna 2020 Suomessa oli noin 2,7 miljoonaa henkilöautoa ja niistä vain 2,6 % toimi vaihtoehtoisella käyttövoimalla. Vuonna 2020 ensire-kisteröidyistä autoista noin 14 % oli lataushybridejä ja 4 % täyssähköautoja. Sähköautojen määrä on voimakkaasti kasvanut viimeisen viiden vuoden aikana ja sähköistys tulee vaikut-tamaan tieliikenteen polttoainemääriin. Lisäksi kaluston uusiutumisen nopeus vaikuttaa mer-kittävästi varmuusvarastoitavien polttoaineiden määriin tulevaisuudessa.

Tieliikenteen käyttövoimien kehityksen nähdään olevan suurin varmuusvarastoinnin toimin-taan vaikuttava tekijä vuoteen 2040 mennessä. Perusskenaariossa (perusura) tieliikenteen energiankulutuksen oletetaan laskevan jopa 25 % vuoteen 2040 samalla kun biopolttoainei-den ja sähkön osuus käytettävissä energialähteissä kasvaa. Sen sijaan työkoneissa ja vesiliik-enteessä dieselkäyttöiset koneet tulevat olemaan pääsääntöinen käyttövoima vielä pitkään. Dieselkäyttöisten koneiden ohella vesiliikenteessä tullaan käyttämään myös dual-fuel koneita.

Tässä työssä tarkasteltiin kahta liikenne- ja viestintäministeriön tieliikenteen käyttövoimien kehityksen pääskenaariota, perusskenaariota (perusura) ja politiikkaskenaariota (WAM, With Additional Measures), joita verrattiin maksimaalisen sähköautojen määrään ja täysin sähköt-ömään tieliikenteeseen. Työryhmä uskoo, että liikenteen käyttövoimien kehitys tulee toden-näköisesti toteutumaan perusuran ja WAM-skenaarion välimaastossa. Perusurassa tieliiken-teen polttoaineiden kokonaiskulutus olisi 3 530 ktoe vuonna 2030 ja 2 800 ktoe vuonna 2040, ja vastaavasti WAM-skenaariossa 2 960 ktoe ja 1 630 ktoe. Täten valtion varmuusvarastoissa varastoitavien tieliikenteen polttoainemäärien arvioidaan laskevan vuoden 2020 1670 ktoe tasosta 1170 ktoe:hen perusurassa ja 680 ktoe:hen WAM-skenaariossa vuonna 2040 (5 kk kulutusta vastaavat määrät). Varmuusvarastoitavien tieliikenteen polttoaineiden kokonais-määrien arvioidaan siis laskevan perusurassa noin 500 ktoe ja WAM-skenaariossa noin 1 Mtoe.

Varmuusvarastoinnin kannalta tieliikenteen sähköistyminen tarkoittaa, että huoltovarmuuden painopisteen tulisi laajentua liikenteen ja lämmityksen huoltovarmuudesta myös logistiikka-ketjujen, sähköjärjestelmien ja kriittisen meriliikenteen varmistamiseen. Varmuusvarastoita-vien polttoaineiden käyttökohteiden laajentuessa nykyinen kustannustehokas varmuusvaras-tointikapasiteetti tulisi säilyttää kansallisen huoltovarmuuden takaamiseksi esimerkiksi kas-vattamalla Huoltovarmuuskeskuksen polttoaineiden varastointivelvoitetta. Uusiutuvien polt-toaineiden kuten HVO:n varmuusvarastointiin tulee valmistautua esimerkiksi näiden polttoai-neiden pitkäaikaisvarastoinnin kokeellisilla tutkimuksilla myös kalliovarastoissa. Lisäksi Huol-tovarmuuskeskuksen tulisi seurata kaasun liikennekäytön kehittymistä ja nykyisen velvoite-varastoinnin riittävyyttä.

Description

Authors	Esa Sipilä ¹ , Heidi Kiuru ¹ , Anna Lilja ¹ , Nils-Olof Nylund ² , Kari Mäkelä ² ja Kai Sipilä ² ¹ AFRY Management Consulting Oy ² TEC TransEnergy Consulting Oy		
Title of publication	Forecast of the development of transport propulsion technologies		
Keywords	Security of supply, emergency stocks, transport propulsion		
Date	May, 2021	Pages 98	Language Finnish

Abstract

This report focuses on the use of transport fuels and the changes in them over the coming decades. The aim of the Finnish government is to maintain emergency stocks of imported fuels, which meet five months of normal consumption of fuels. Changes in transport propulsion will affect the quantities of fuels in the emergency stockholding.

Today, emission reduction targets are the main drivers for changes in transport propulsion. According to the Energy and Climate Strategy, greenhouse gas emissions from transport should be reduced by 50% by 2030 compared to the levels in 2005. Various rules and regulations at EU and national level limit CO₂ emissions from road transport.

In 2019, the total domestic consumption of liquid fuels was around 5 000 ktoe, of which the consumption of road transport fuels was 3 990 ktoe. In 2020, there were around 2.7 million passenger cars in Finland, of which only 14% of the first registrations were charging hybrids and 4% full electric vehicles. The number of electric vehicles has increased significantly over the last five years and electrification will have an impact on fuel consumption in road transport. Furthermore, the speed of fleet renewal will have a significant impact on the amount of stockholding fuels in the future.

The development of road transport propulsion is seen as the main factor influencing operation of emergency stockholding by 2040. Road transport energy consumption is expected to decrease up to 25 % by 2040 in the baseline scenario, while the share of biofuels and electricity increases. On the other hand, in non-road mobile machines and in waterway transportation, diesel powered engines will remain the main propulsion for a long time. In addition to diesel engines, dual-fuel engines will also be used in waterway transportation.

In this report, two main scenarios, the baseline scenario and the policy scenario (WAM, With Additional Measures) of road transport propulsion development from the Ministry of Transport and Communications, were considered and compared to a maximum number of electric vehicles and to a road transport without electric vehicles. The working group believes that the evolution of transport propulsion is likely to occur somewhere in between the baseline and the WAM scenario. In the baseline scenario, fuel consumption in road transport sector would be 3 530 ktoe in 2030 and 2 800 ktoe in 2040 and in the WAM scenario 2 960 ktoe and 1 630 ktoe, respectively. Based on the scenario analysis, the amount of emergency stocks of road transport fuels is estimated to decrease from 1 670 ktoe to 1 170 ktoe in baseline scenario and to 680 ktoe in WAM scenario by 2040. Thus, the total amount of emergency stocks for road transportat fuels is estimated to decrease 500 ktoe in baseline scenario and 1 Mtoe in WAM scenario by 2040.

In terms of emergency stocks, the electrification of road transport means that the focus of security of supply should be extended from security of transport and heating to also cover logistics chains, electricity systems and critical maritime transport. Due to the expanding usage of emergency stocks of fuels, the current cost-effective emergency stock capacity should be maintained to ensure national security of supply. This could be done for instance by increasing the fuel storage obligation for the National Energy Supply Agency. Preparations for emergency stocks of renewable and advanced fuels, such as HVO, should be done for instance by experimental studies on the long-term stockholding of these fuels in rock cave storages. Furthermore, the National Energy Supply Agency should monitor the development of gas in transport and sufficiency of the current stocks.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tieliikenteen sähköistyksen ennustetaan etenevän nopeasti myös Suomessa. Nopeimmin sähköistyvät henkilöautot ja kaupunkilinja-autot. Vuonna 2020 ladatavien autojen osuus henkilöautojen uusrekisteröinneistä oli noin 18 %. Sähköistyminen tulee jatkossa pienentämään perinteisten polttoaineiden määriä. Lisäksi uusiutuvien polttoaineiden lisääntyvä käyttö heijastuu polttoainelaatuihin. Biopolttoaineiden jakeluvaikeus on 30 % vuodelle 2029, ja tästä eteenpäin taso saattaa vielä nousta. Liikenteen käyttövoimien kehitys vaikuttaa Suomen huoltovarmuuteen polttoainemäärien ja -laatuun osalta.

Huoltovarmuuskeskus sekä Öljypooli ja Maakaasujaosto ovat pyytäneet AFRY Management Consulting Oy:lta selvitystä liikenteen käyttövoimien kehityksen ennusteesta vuosiin 2030 ja 2040 sekä niiden vaikutuksista fossiilisten ja uusiutuvien polttoaineiden käyttömääriin. Selvityksen keskiössä on arvioida edellä mainittujen seikkojen vaikutus huoltovarmuuteen ja varmuusvarastoitavien tuotteiden laatuun ja määriin.

1.2 Tavoitteet ja menetelmät

Selvityksen tavoitteena on arvioida liikenteen käyttövoimien kehitystä lähivuosikymmeninä ja sen kehityksen vaikutusta fossiilisten ja uusiutuvien polttoaineiden käyttömääriin, huoltovarmuuteen ja varmuusvarastoitavien tuotteiden laatuun ja määriin. Selvityksessä on otettu huomioon myös poliittisesti sitovien päätöksien vaikutukset edellä mainittuihin asioihin. Selvityksen tarkastelun kohteena on pääasiassa maantieliikenne: henkilöautot, kuorma-autot, linja-autot ja pakettiautot. Lisäksi on tarkasteltu myös laivaliikennettä ja työkohteita.

Selvityksessä on kartoitettu ajoneuvokannan ja laivojen käyttöiän kehitys eri skenaarioissa ja sen vaikutuksia jakeluinfraan lyhyellä ja pitkällä aikavälillä sekä vaikutukset huoltovarmuuteen ja varmuusvarastoihin. Selvityksessä on myös tunnistettu epävarmuustekijät ja niiden vaikutukset.

Työssä on esitetty ajoneuvokannan ja laivojen käyttöiän kehitys. Julkaistujen ennusteiden pohjalta luotiin arvio liikenteen vaihtoehtoisten energioiden vaikutuksista huoltovarmuuteen ja varmuusvarastoihin. Arvioissa hyödynnettiin ALIISA autokantamallia, TYKO -laskentamallia, MEERI-mallia ja MERIMA-mallia. Tieliikenteen osalta on tukeuduttu liikenne- ja viestintäministeriön ns. perusennusteeseen ja politiikkaskenaarioon (WAM).

Työn lopussa arvioitiin liikenteen käyttövoimien kehityksen vaikutuksia varmuusvarastointiin ja huoltovarmuuden toimintaan. Lisäksi kuvattiin mahdollisia toteutusratkaisuja varmuusvarastoinnille, joilla voitaisiin vastata liikenteen muuttuviin tarpeisiin. Työn johtopäätöksien pohjalta esitettiin suositukset Huoltovarmuuskeskukselle tarvittavista jatkotoimenpiteistä ja lisäselvitystarpeista.

2 Nykyinen huoltovarmuusjärjestelmä

Suomen huoltovarmuutta ohjaavat säädökset, jotka määrittävät varastoitavat tuotteet ja varastointivelvoitteet kotimaisille ja tuontipolttoaineille. Huoltovarmuuskeskus ylläpitää ja kehittää Suomen huoltovarmuutta lain edellyttämällä tavalla. Tällä hetkellä valtio on velvollinen varmuusvarastoimaan viiden kuukauden normaalikulutusta vastaavat tuontipolttoainemäärät.

Suomen huoltovarmuutta ohjaavat pääasiassa seuraavat säädökset: valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018), laki tuontipolttoaineiden velvoitevarastoinnista (1070/1994) ja laki huoltovarmuuden turvaamisesta (1390/1992). Valtioneuvoston päätöksessä huoltovarmuuden tavoitteista (1048/2018) sanotaan, että huoltovarmuuden tavoitteena on varmistaa kriittisen infrastruktuurin suojaaminen. Kriittiseen infrastruktuuriin mukaan luetaan muun muassa energian tuotanto, siirto- ja jakelujärjestelmät, liikenne- ja logistiset palvelut ja liikenneverkot. Laissa määritellään myös, että välttämätön infrastruktuuri yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen, väestön terveyden, hyvinvoinnin ja toimeentulon sekä maan talouselämän ja maanpuolustuksen kannalta on kyettävä turvaamaan häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa. Lisäksi Suomen sijainnista johtuen välttämätön merikuljetus on turvattavaa infrastruktuuria. Kriittiseksi on myös määritelty työssäkäyntiliikenne pääkaupunkiseudulla ja muissa suurimmissa asutuskeskitymissä sekä valtakunnallisesti kriittisimmät palvelukuljetukset. Logistiikan jatkuvuuden turvaamisessa on otettava huomioon polttoaineiden saatavuus. (Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista, 2018)

Kriittisen infrastruktuurin lisäksi Suomen laissa määrätään vaatimuksia liikennepolttoaineiden varastoinnille ja jakelulle. Tuontipolttoaineiden varastointivelvoitetta määriteltäessä liikenteessä käytettävien nestemäisten biopolttoaineiden ja komponenttien määrä ja laatu on otettava huomioon. Lisäksi liikennepolttoaineiden jakeluasemien, jotka ovat keskeisiä jakeluvelvoitteen kannalta, toimintakykyä parannetaan sähkönjakelun ja tietojärjestelmien häiriötilanteissa. Tuontipolttoainetta pidetään valtion varmuusvarastoissa viiden kuukauden normaalikulutusta vastaavat tuontipolttoainevarastot. (Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista, 2018) Raakaöljyn ja öljytuotteiden varastoinnissa on lain mukaan huomioitava se, että ne pystytään laskemaan liikkeelle ja toimittamaan loppukäyttäjälle ja markkinoille määrääjassa minimoimalla mahdolliset toimitusongelmat (Laki huoltovarmuuden turvaamiseksi, 1993). Varastointivelvoite koskee raakaöljyä ja esitislattua raakaöljyä, öljytuotteista dieselöljyä, kevyttä polttoöljyä, raskasta polttoöljyä, moottoribensiiniä sekä lentobensiiniä ja lentopetrolia sekä

maakaasua. Uusiutuville polttoaineille ei ole tällä hetkellä asetettu varastointivelvoitetta. Raakaöljyn ja öljytuotteiden sekä maakaasun velvoitevarastoinnissa maahantuojan velvoitevarasto tulee vastata kahden kuukauden keskimääräistä tuontia (vuosittain 1.7 alkaen). (Laki tuontipolttoaineiden velvoitevarastoinnista, 1995). Tässä työssä viiden kuukauden varastointivelvoitteelle käytetään valtioneuvoston päätöksen mukaisesti termiä valtion varmuusvarastot. Viiden kuukauden velvoitteesta osa on maahantuojan kahden kuukauden varastointivelvoitteen piirissä, jolle käytetään tässä työssä termiä toimijoiden velvoitevarastot. Jäljelle jäävälle kolmelle kuukaudelle tullaan käyttämään termiä Huoltovarmuuskeskuksen varmuusvarastot.

Huoltovarmuuskeskuksen tehtävänä on ylläpitää ja kehittää Suomen huoltovarmuutta. Huoltovarmuudella tarkoitetaan muun muassa väestön toimeentulon, maan talouselämän ja infrastruktuurin vähimmäistarpeiden turvaamista poikkeusolojen ja häiriöiden aikana. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2020) Lain mukaan Huoltovarmuuskeskus varmistaa, että mm. raakaöljyn ja öljytuotteiden varmuusvarastot ovat käytössä ja varmuusvarastoihin on fyysinen pääsy niin kuitenkin, että varastojen huoltovarmuus on turvattu. (Laki huoltovarmuuden turvaamiseksi, 1993)

Sektorit ja poolit toimivat tiiviissä yhteistyössä Huoltovarmuuskeskuksen kanssa. Huoltovarmuussektoreita ovat elintarvikehuolto-, energiahuolto-, finanssiala-, logistiikka-, teollisuus ja terveydenhuollonsektorit. Sektoreiden tehtävänä on mm. kehittää huoltovarmuutta, edistää elinkeinoelämän ja viranomaisten välistä yhteistyötä. Lisäksi sektoreiden tehtäviin kuuluu lisätä alan toimijoiden välistä yhteistyötä huoltovarmuusasioissa ja seurata alansa poolien toimintaa sekä oman alan uhkia ja huoltovarmuuden kehityssuuntia. Poolien tehtävänä sen sijaan on yhdessä alan yritysten kanssa mm. kehittää, suunnitella, tehdä selvityksiä ja ylläpitää toimialatoimintoa ja tietoja huoltovarmuuteen liittyen. (Huoltovarmuuskeskus, 2021)

3 Käyttövoimien muutosten viitekehys

Liikenteen käyttövoimien kehitystä ajaa tavoite vähentää liikenteen kasvihuonepäästöjä, etenkin CO₂-päästöjä. Tieliikenteen päästöjen vähentämistä pyritään ohjaamaan ajoneuvojen CO₂-päästörajoilla, polttoaineiden laatustandardeilla sekä lukuisilla liikenteeseen ja energian käyttöön vaikuttavilla direktiiveillä, sopimuksilla ja ohjauskeinoilla. Vesiliikenteessä sen sijaan kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO) on asettanut kansainvälisen merenkulun liikennesuoritekohtaisten CO₂-päästöjen keskimääräiseksi vähentämistavoitteeksi vähintään -40% vuoteen 2030 mennessä ja vähintään -70% vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 2008. Lisäksi kansainvälisen merenkulun absoluuttisia kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 50 % vuoteen 2050 mennessä vuoteen 2008 verraten. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi on luotu yleissopimus (MARPOL), jolla säännellään alusten toimia päästöjen vähentämiseksi. Suomessa taakanjakosektorille, johon tieliikenne kuuluu, on asetettu päästövähennystavoitteeksi -39 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 tasoon verrattuna, mutta tavoite saattaa vielä muuttua. Kansallisiin päästövähennystoimiin sisältyy muun muassa biopolttoaineiden käyttö, liikenteen sähköistäminen sekä energiatehokkuustoimia.

3.1 Yleistä

Tällä hetkellä liikenteen käyttövoimien muutoksiin voimakkaimmin ajava tekijä on tavoite vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä, etenkin hiilidioksidipäästöjä (CO₂-päästöjä). Tieliikenteen CO₂-päästöjä rajoitetaan niin EU-tasolla kuin kansallisellakin tasolla erilaisten määräyksien ja säännösten avulla. Meriliikenteen CO₂-päästöjä pyritään rajoittamaan kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n ei-lainvoimaisella sopimuksella.

Tällä hetkellä tärkeimmät vähähiiliset energiavaihtoehdot ovat biopolttoaineet ja sähkö, mutta tulevaisuudessa vaihtoehtojen määrä voi lisääntyä. Esimerkiksi sähköpolttoaineet ovat olleet viime aikoina laajan mielenkiinnon kohteena, ja tulevaisuudessa vedyn käyttö liikenteen energiamuotona voi lisääntyä. Vedyn ja polttokennojen sopivuus tieliikenteeseen on kuitenkin epävarmaa ja vedyn lisääntymisen skenaariot vuoteen 2040 vaihtelevat paljon. Suomen tieliikenteen skenaarioissa vedyn käyttöönottoa ei ole huomioitu laisinkaan. Huoltovarmuuden kannalta lähes kaikki vaihtoehtoiset energiamuodot ovat perinteisiä nestemäisiä hiilivetypolttoaineita haastavampia varmuusvarastoida. Happea sisältävät biopolttoaineet, kaasumaiset polttoaineet ja eten-

kin sähkö ovat haastavia huoltovarmuuden näkökulmasta. Kuva 1 havainnollistaa vaihtoehtojen käyttövoimien ajureita eri aikakausina. Niin kansalliset kuin kansainvälisetkin tavoitteet kuin teknologian kehittyminen ovat muuttaneet vaihtoehtojen käyttövoimien ajureita vuosikymmenien varrella.

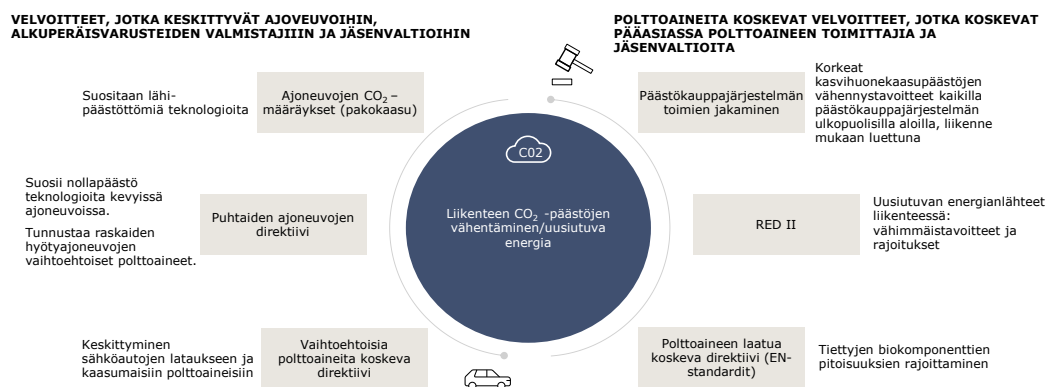


Kuva 1 Vaihtoehtojen käyttövoimien ajurit

EU:n ilmastopolitiikan ydintä ovat päästökauppa, kansalliset tavoitteet päästökaupan ulkopuolisille aloille (ns. taakanjako) ja EU:n sopeutumisstrategia. Alun perin Euroopan unionin tavoitteena on ollut leikata kasvihuonekaasuja (KHK) 40 % vuoteen 2030 mennessä referenssivuoteen 1990 verrattuna. Päästövähennystavoite päästökaupasektorilla (PKS) on 43 %, ja ei-päästökaupasektorilla (ei-PKS) keskimäärin 30 %. Ei-päästökaupasektoriin kuuluvat mm. liikenne, rakennusten energiankäyttö ja jätehuolto. Ns. taakanjaolla määrättiin eri maille maakohtaiset sitovat päästövähennystavoitteet. Suomen osalta tavoite on -39 % ei-päästökaupasektorilla referenssivuoteen 2005 verrattuna. Kansallisista päästövähennyksistä on lopullisesti määrätty asetuksessa (EU) 2018/842 (Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto, 2018).

Sittemmin EU on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta. Tämä on myös EU:n ilmoittama sitoumus Pariisin ilmastopoliittisesta varten YK:n ilmastopoliittiselle sihteeristölle. Lisäksi EU:n tavoitteena on olla ensimmäinen ilmastoneutraali maanosana vuoteen 2050 mennessä. Euroopan komissio julkaisi joulukuussa 2019 vihreän kehityksen ohjelman (European Green Deal), jossa esitellään keinot, joilla ilmastoneutraalius saavutetaan. Komission ehdotuksia maakohdaisista tavoitteista ja päästökaupan uudistamisesta odotetaan kesällä 2021 (Ympäristöministeriö, 2021).

Kuvassa 2 on yhteenveto tieliikennettä koskevasta EU tasoisesta regulaatiosta, joka suoraan tai epäsuorasti tähtää CO₂-päästöjen vähentämiseen. Seuraavassa avataan lyhyesti tieliikenteelle spesifisiä määräyksiä.



Kuva 2 Tieliikenteen CO₂-regulaatiokehys.

3.2 Ajoneuvojen CO₂-päästörajat

Tieliikenteen osalta henkilöautot, pakettiautot ja tietyt kuorma-autoluokat ovat CO₂-rajoitusten piirissä. Työkoneille tai työkonevoimatoimureille ei toistaiseksi ole CO₂-päästörajoituksia. Lentoliikenne puolestaan on päästökaupan piirissä (Traficom, 2021b).

Ajoneuvojen CO₂-regulaatio perustuu pakoputkesta mitattuihin CO₂-päästöihin, joten se ohjaa toimintaa kohti nollapäästöisiä autoja kuten sähköautoja ja tulevaisuudessa mahdollisesti vetykäyttöisiä autoja. Samaan kehityssuuntaan vaikutetaan myös puhtaiden ajoneuvojen edistämistä koskevalla direktiivillä, joka sitoo julkisen sektorin ajoneuvo- ja kuljetuspalveluhankintoja.

Vuonna 2019 Euroopan unionissa päätettiin kiristää henkilöautojen ja pakettiautojen CO₂-päästörajoja. Euroopan unionin tavoitteena on vähentää 15 % henkilöautojen päästöistä vuoteen 2025 mennessä ja 37,5 % päästöistä vuoteen 2030 mennessä. Pakettiautojen osalta CO₂-päästöjä pyritään vähentämään 15 % vuoteen 2025 mennessä ja 31 % vuoteen 2030 mennessä. (Euroopan komissio, 2021b).

Vuonna 2019 Euroopan unionissa päätettiin lisäksi kuorma-autojen CO₂-sääntelystä asetuksella EU 2019/12424 (Euroopan komissio, 2021a). CO₂ määrit-

tely perustuu mitattuun moottoridataan ja ajoneuvon simulointiin VECTO-työkalun avulla (Euroopan komissio, 2018). Euroopan unionin tavoitteet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Yhteenveto tieliikenteen kiristyvistä CO₂-päästörajoista (Euroopan komissio, 2021a; Euroopan komissio, 2021b)

Autoluokka	Referenssi	2025	2030
Henkilöautot	2021/95 g CO ₂ /km	-15 %	-37,5 %
Pakettiautot	2020/147 g CO ₂ /km	-15 %	-31 %
Kuorma-autot	2019/2020 ka.	-15 %	-30 %

Autojen CO₂-regulaatio on parhaillaan tarkistuksen alaisena. Dokumentaatiossa on sanottu, että tässä yhteydessä selvitetään myös mahdollisuudet ottaa käyttöön tietynasteinen elinkaaritarkastelu (Life Cycle Analysis, LCA), joka mahdollistaisi uusiutuvien polttoaineiden huomioimisen myös ajoneuvosäännöksissä. Mitään päätöksiä tästä ei kuitenkaan toistaiseksi ole.

3.3 Päästölainsäädäntö

Päästölainsäädäntö koskee terveydelle haitallisia pakokaasukomponentteja, ns. säänneltyjä päästöjä, joita ovat hiilimonoksidi CO, hiilivedyt HC, typen oksidit NO_x, hiukkaset PM (massa) ja PN (lukumäärä). Päästölainsäädäntö ei suoraan koske CO₂-päästöjä.

Euro-päästöluokat (esim. kuorma-autoilla Euro I-VI) asettavat päästörajavaatimukset bensiini- ja dieselkäyttöisille ajoneuvoille. Luokat kuvaavat haitallisten päästöjen määrää. Mitä suurempi luokka niin sitä puhtaammat pakokaasupäästöt ajoneuvolla on. Euro-päästöluokat ovat asteittain kiristyneet ja niissä on aina noin vuoden siirtymäaika, jonka jälkeen kaikki myynnissä olevien autojen tulee täyttää voimassa olevien Euro-luokkien kriteerit. (Happo;Hosiokangas;Keskitalo;& Räsänen , 2020) Tällä hetkellä voimassa on Euro 6-luokka henkilö- ja pakettiautoille ja Euro VI -raskaille ajoneuvoille.

Uudet päästöluokat, Euro 7/VII, ovat tällä hetkellä valmisteilla. Lokakuussa 2020 pidettiin Advisory Group on Vehicle Emission Standards (AGVES) työpaja, jossa esiteltiin CLOVE konsortion hahmotelmia mahdollisista uusista määräyk-

sistä (Samaras; Mellios; & Hausberger, 2020). Muutoksia ehdotetaan testausmenetelmiin, säänneltäviin komponentteihin ja raja-arvoihin. Raskaiden moottoreiden nykyinen Euro VI NO_x-raja on 460 mg/kWh, ja ehdotuksissa esiintyy kaksi uutta tasoa, 120 ja 40 mg/kWh, jotka kumpikin merkitsisivät merkittävästi kiristymistä ja mahdollisesti polttoaineen kulutuksen nousua.

Autoteollisuus ja komponenttiteollisuus suhtautuvat ehdotuksiin hyvin kriittisesti. Esitykset nähdään yleisesti tapana ajaa polttomoottoriautot ns. nurkkaan ja edistää liikenteen sähköistymistä. Eurooppalaisten autonvalmistajien yhteenliittymä ACEA on muun muassa todennut kannanotossaan, että ehdotukset ovat suurimmissa määrin teknisesti sopimattomia polttomoottoriautoihin ja heikentäisivät eurooppalaisen autoteollisuuden kilpailukykyä. Lisäksi ACEA kritisoi vaikutusarviointien puuttumista sekä mittausmenetelmiin liittyviä epävarmuustekijöitä. (ACEA, 2020)

3.4 Puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi

Puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi (EU) 2019/116 edellyttää, että julkiset hankintaviranomaiset ja hankintayksiköt sekä ajoneuvo- että kuljetuspalveluhankintojen osalta ottavat käyttöön tietyn vähimmäisosuuden ”puhtaita” ajoneuvoja. Puhtaan henkilö- ja pakettiauton määritelmä perustuu CO₂-päästöihin. Ensimmäisellä viitejaksolla (2.8.2021-31.12.2025) henkilö- ja pakettiautojen osalta puhtaaksi moottoriajoneuvoksi luokitellaan ajoneuvo, jonka päästöt ovat enintään 50 g CO₂/km ja ajanjaksolla 1.1.2026-31.12.2030 enintään 0 g CO₂/km. Tällä hetkellä käytössä olevista moottoriajoneuvoista ainoastaan sähköautot täyttävät puhtaan ajoneuvon päästörajat. (Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto, 2019)

Raskaista ajoneuvoista puhtaaksi ajoneuvoksi luokitellaan kaikki vaihtoehtoisista polttoainetta (ml. sähkö) käyttävät ajoneuvot. Lisäksi 100 % uusiutuvalla dieselpolttoaineella kulkeva dieselajoneuvo määritellään tietyin edellytyksin puhtaaksi ajoneuvoksi. Määrittely linkittyy Euroopan unionin direktiiviin 2014/94/EU vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta.

Raskaiden ajoneuvon osalta tavoitteet vaihtelevat maittain. Ensimmäisellä viitejaksolla kuorma-autoista (N2 ja N3 luokat) 9 % on oltava puhtaita ajoneuvoja ja kaupunkilinja-autoista 41 %. Kaupunkilinja-autoista puolet tulee olla nollapäästöisiä. Toisella viitejaksolla tavoiteluvut ovat kuorma-autoille 15% ja kaupunkibusseille 59%. (Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto,

2014) Tavoiteluvuista voidaan päätellä, että kaupunkilinja-autojen oletetaan soveltuvan erityisen hyvin sähköistettäväksi.

3.5 Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta

Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta 2014/94/EU keskittyy sähköautojen latauspisteisiin ja kaasuautojen tankkaus-asemiin. Direktiivi ei sisällä sitovia määrällisiä tavoitteita, mutta velvoittaa kunkin jäsenmaan laatimaan suunnitelman vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurista. Kansallisissa toimintakehyksissä tulee esittää sekä liikenteen vaihtoehtoisia käyttövoimia ja niiden jakeluinfraa koskevat tavoitteet vuosille 2020 ja 2030 sekä toimenpiteet, joilla tavoitteet saavutetaan.

Suomen kansallinen suunnitelma vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta hyväksyttiin valtioneuvoston istunnossa helmikuussa vuonna 2017. Suunnitelmassa todetaan, että EU- ja/tai kansallisia tukia voidaan hyödyntää polttoaineiden verkoston sekä sähköautojen julkisten latauspisteiden rakentamisessa, mutta ne rakennetaan markkinaehtoisesti. Alueellisesti keskitytään ensin suuriin ja keskisuuriin kaupunkiseutuihin ja muut alueet arvioidaan viimeistään vuonna 2020. Rakennuttajia ovat energiayhtiöt ja kaupalliset toimijat. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2017)

3.6 Polttoaineiden laatudirektiivi ja polttoainestandardit

Polttoaineiden laatua ja koostumusta säädellään eritasoisilla määräyksillä ja dokumenteilla niin tieliikenteessä kuin työkonikäytössä, jotta varmistetaan, että käytössä olevat polttoaineet ovat yhteensopivia ajoneuvokannan kanssa. Kolme päätasoa muodostuu lakisääteisistä vaatimuksista, standardivaatimuksista ja markkinalähtöisistä vaatimuksista.

Polttoaineiden laatudirektiivi ja polttoainestandardit säätelevät haitallisten pakokaasupäästöjen rajoittamista ja polttoaineiden toiminnallisuuden varmistamista. Direktiivillä myös varmistetaan uusiutuvan energian osuutta polttoaineista. Laatudirektiivin määräykset ovat lainvoimaisesti sitovia. Lisäksi polttoainestandardit käsittävät myös polttoaineiden stabiilisuuteen ja varastoitavuuteen liittyviä parametreja.

EU:n polttoaineiden laatudirektiivi 2009/30/EY koskee bensiini ja dieselpolttoaineita ja kaasuöljyä (polttoöljyä). Direktiivi määrittelee pakokaasupäästöjen kannalta kriittisimmät polttoaineparametrit. Direktiivi rajoittaa myös happipitoisten biokomponenttien enimmäismäärän, jotta polttoaineet toimisivat myös

vanhemmassa vakiokuntoisessa ajoneuvokalustossa. Tällä hetkellä bensiini voi sisältää enintään 10 til.-% etanolia ja dieselpolttoaine enintään 7 til.-% perinteistä biodieseliä (FAME, Fatty Acid Methyl Ester). Jäsenvaltiot voivat kuitenkin halutessaan poiketa FAME-rajasta. Direktiivi ei rajoita uusiutuvan dieselin (HVO, Hydrogenated Vegetable Oil) pitoisuutta. (Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto, 2009)

Polttoaineiden laatudirektiivi sisältää vaatimuksen polttoaineiden hiili-intensiteetin alentamisesta 6 prosenttiin aikavälillä 2009–2020. Polttoaineen tuottajat voivat toteuttaa tämän vähennyksen esimerkiksi jalostamotoiminnan tehostamisen ja biopolttoaineiden käytön yhdistelmällä. Uusiutuvan energian edistämistä koskevan direktiivin tavoin myös polttoaineiden laatudirektiivi sisältää kestävyyskriteerejä biopolttoaineille. (Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto, 2009) Polttoainedirektiiviä päivitetään parhaillaan ja päivitykset koskisivat mm. korkeampien biokomponenttipitoisuuksien sallimista (esim. E20 bensiini) ja vaatimuksia polttoaineiden hiili-intensiteetin pienentämiselle (Euroopan komissio, 2020).

EN-standardit ovat niin sanottuja teollisuusalan vapaaehtoisia sopimuksia. Polttoainestandardit toistavat laatudirektiivissä asetetut vaatimukset, mutta sisältävät myös käytännön toimivuuden kannalta tärkeitä lisäparametreja, täydentäen näin direktiiviä. Direktiivi määrittelee dieselpolttoaineella ainoastaan 6 parametria, EN590 standardi taas 16 parametria. Lisäksi maakaasun, biometaanin ja niiden seosten vaatimukset ajoneuvon polttoainekäytölle määrittää eurooppalainen standardi EN 16723-2:2017. Tärkeimmät EN polttoainestandardit ovat (E= etanoli, B= FAME):

- EN 228: bensiini (maks. E10)
- EN 590: diesel (maks. B7)
- EN 16734: diesel B10, EN 16709: B20/B30 varikkokäyttöön
- EN 14214: B100, sellaisenaan ja seoskomponenttina
- EN 15940: parafiininen dieselpolttoaine (fossiilinen tai uusiutuva, XTL, uusiutuva diesel HVO kuuluu tähän luokkaan)
- EN 16723-2: metaani (CNG, LNG)

Tieliikennekaluston Euro VI päästönormi edellyttää moottorin sertifiointin polttoaineella, jota moottorissa tullaan käytön aikana käyttämään. Lähes kaikki raskaan kaluston dieselmoottorien valmistajat ovat hyväksyttäneet Euro VI moottorinsa EN 15940 polttoaineelle, eli käytännössä uusiutuvalle dieselpolttoaineelle HVO:lle. Osa autonvalmistajista on myös hyväksynyt HVO-polttoaineen käytön vanhemmissa moottorityypeissä. (Euroopan parlamentti ja

neuvosto, 2009). Luonnollisesti tarjolla on myös EURO VI tasoisia kaasumootoreita.

Nykymääräysten mukaan uudesta ajoneuvosta pitää löytyä merkintä siitä, mitkä polttoaineet ovat ajoneuvossa sallittuja. Lisäksi vastaavien merkintöjen pitää löytyä jakelumittareista (European Committee for Standardization, 2021). Eräät valmistajat ovat sertifioineet moottoreita myös B100 polttoaineelle (100 %:nen perinteinen biodiesel) (The association quality management biodiesel e.V., 2021). Näissä tapauksissa edellytetään useimmiten muutoksia esimerkiksi polttoainesuodattimiin ja huolto-ohjelmiin.

3.7 Direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä

Uusiutuvan energian edistämistä koskeva direktiivi ((EU) 2018/2001, RED II) päivitettiin vuonna 2018. Direktiivi täydentää polttoaineiden laatudirektiiviä uusiutuvien polttoaineiden osalta. Liikenteen osalta direktiivi määrittelee mm. vähintään 14 prosentin uusiutuvan energian tavoitteen vuodelle 2030, ja sisältää kestävyyskriteerit biopolttoaineille, rajoitukset tietyille raaka-ainekategorioille ja kehittyneiksi luokiteltaville biopolttoaineille. Direktiivissä uusiutuvaksi energiaksi lasketaan biopolttoaineet, biokaasu, uusiutuva sähkö ja uusiutuvasta energiasta tuotettu vety, sähköpolttoaineet tietyin reunaehdoin ja kierrätetyt hiilipitoiset polttoaineet. Sähköpolttoaineilla tarkoitetaan muuta kuin biologista alkuperää olevia uusiutuvia nestemäisiä ja kaasumaisia liikenteen polttoaineita. (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2018)

Direktiivissä on asetettu biopolttoaineille ja biokaasulle useita eri vaatimuksia. Ravinto-rehukasveista tuotettujen biopolttoaineiden osuus voi olla korkeintaan 7 %, kuitenkin niin, että osuus saa olla enintään yhden prosenttiyksikön suurempi kuin vuoden 2020 toteutuma kussakin jäsenvaltiossa. Kehittyneille polttoaineille, joiden raaka-aine on sisällytetty direktiivin liitteeseen IX A, on sen sijaan omat alavelvoitteet: vähintään 0,2 % vuonna 2022, 1 % vuonna 2025 ja 3,5 prosenttia vuonna 2030. Tämä velvoite ei kuitenkaan koske tapauksia, joissa jäsenvaltio täyttää uusiutuvan energian tavoitteensa uusiutuvalla sähköllä. Lisäksi direktiivin liitteessä IX B lueteltuihin raaka-aineisiin perustuville biopolttoaineille on asetettu 1,7 prosentin yläraja (käytetyt ruokaöljyt ja tietyt eläinrasvat). Mikäli jäsenvaltio ei käytä ravinto- ja rehukasveista tuotettuja biopolttoaineita, jäsenmaan uusiutuvan energian tavoite on 7 %. (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2018)

Edellä esitettyjen vaatimuksien täyttämiseksi voidaan käyttää raaka-aineisiin perustuvia kertoimia. Esimerkiksi liitteessä IX mainittuihin raaka-aineisiin perustuvilla polttoaineille voidaan käyttää kerrointa kaksi. Tieliikenteessä käytetylle uusiutuvalle sähkölle kerroin on taas neljä. Huomioitavaa on se, että mikäli jäsenvaltio ei käytä ravinto- ja rehukasveista tuotettuja biopolttoaineita ja laskee kehittyneet biopolttoaineet sekä käytettyyn kasviöljyyn ja eläinrasvoihin perustuvat biopolttoaineet kertoimella kaksi, vuoden 2030 uusiutuvan energian tavoitteen täyttämiseksi riittää 3,5 prosentin fyysinen polttoainelosuus.

RED II direktiivi määrittelee siis uusiutuvia polttoaineita koskevat säännöt, mutta EU:n asettamilla maakohtaisilla päästövähennystavoitteilla, kuten Suomen -39 %:n ei-PKS päästövähennystavoitteella, nähdään olevan kuitenkin suurempi vaikutus päästövähennyksiin kuin RED II -direktiivillä. Vaikka RED II direktiivin toimeenpano on vielä tiettyjen määrittelyjen osalta kesken (esim. sähköpolttoaineet), niin direktiivin päivitysprosessi on jo käynnissä.

3.8 Vesiliikenteen regulaatio EU-tasolla

IMO (International Maritime Organization) kansainvälinen merenkulkujärjestön tavoitteena on vähentää kansainvälisen merenkulun liikennesuoritekohtaisia CO₂-päästöjä keskimäärin vähintään 40 % vuoteen 2030 mennessä ja vähintään 70 % vuoteen 2050 mennessä vertailuvuoden ollessa 2008. Lisäksi kansainvälisen merenkulun absoluuttisia kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 50 % vuoteen 2050 mennessä vuoteen 2008 verraten. (IMO, 2021c)

IMO:n MARPOL 73/78 (the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) eli kansainvälinen yleissopimus merenkulun ympäristösuojeluun sisältää säädöksiä, jotka ehkäisevät ja minimoivat alusten aiheuttaman tahattoman ja tavanomaisen toiminnan aiheuttamia päästöjä. Yleissopimusta on päivitetty vuosien varrella. Yleissopimus käsittää kuusi liitettä. Liite I säädökset öljypäästöjen ehkäisemiseksi, liite II säädökset irtolastina kuljetettavien vaarallisten nestemäisten aineiden valvonnasta, liite III säädökset merenympäristölle vaarallisesti pakattujen aineiden saastuttamisen ehkäisyyksi, liite IV säädökset aluksien käymäläjätevesien saastuttamisen ehkäisemiseksi, liite V säädökset aluksien kiinteiden jätteiden saastuttamisen ehkäisemiseksi ja liite VI säädökset alusten aiheuttamien ilman saastumisen ehkäisemiseksi. (IMO, 2021b)

Euroopan unionilla on strategia vähentää vesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä. Strategian mukaan tavoitteena on monitoroida, raportoida ja todentaa kasvihuonekaasupäästömäärät suurien aluksien osalta, jotka käyttävät EU:n

satamia. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteet meriliikenteessä ja muut tavoitteet sisältäen markkinapohjaiset toimenpiteet keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä. Euroopan unionin direktiivi 2018/410 on nostanut esille, että Euroopan unionin pitäisi toimia meriliikenteen päästöjen vähentämiseksi. Direktiivi myös toteaa, että Euroopan komission tulisi säännöllisesti tarkkailla IMO:n toimia ja EU tai IMO:n tulisi tehdä toimia meriliikenteen päästöjen vähentämiseksi vuodesta 2023 alkaen. (Euroopan komissio, 2021c)

3.9 Kansalliset käyttövoimien muutosten viitekehykset Suomessa

Vuonna 2016 julkaistiin Suomen kansallinen energia- ja ilmastostrategia, jonka pohjalta tämänhetkiset linjaukset liikenteen CO₂-päästöjen vähentämiseksi on tehty. Energia ja-ilmastostrategiassa todetaan, että liikenne on merkittävä kasvihuonekaasujen aiheuttaja Suomessa aiheuttaen noin 40% taakanjakosektorin kasvihuonepäästöistä. Lisäksi liikenteessä päästövähennystoimien teko on helpompaa kuin muilla taakanjakosektorin toimialoilla kuten maataloudessa. Näin ollen liikennesektorilla on varauduttava jopa 50 % prosentin päästövähennyksiin vuoteen 2030 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016)

Strategiassa on listattu erilaisia päästövähennystoimia. Niitä ovat mm. liikennejärjestelmän ja ajoneuvojen energiatehokkuuden parantaminen sekä fossiilisten öljypohjaisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla ja/tai vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla. Tavoitteena on, että liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus tieliikenteeseen myydystä polttoaineesta nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi strategiassa on tavoitteena, että Suomessa olisi vähintään 250 000 sähköautoa ja vähintään 50 000 kaasuautoa vuonna 2030. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016) Tällä hetkellä valmistellaan uutta ilmasto- ja energia strategiaa, jossa otetaan huomioon mm. Euroopan vihreän kehityksen ohjelmaa koskevat ehdotukset. Strategian sisältö valmistuu kesällä 2021 ja se etenee eduskunnan käsittelyyn syksyllä 2021. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategiaan kirjatut tavoitteet ovat myös Sanna Marinin hallitusohjelmassa. (Valtioneuvosto, 2019). Hallitusohjelmassa mainittu fossiilittoman liikenteen tiekartta julkaistiin lokakuussa 2020, johon on kirjattu keskeiset toimenpiteet, niiden kustannukset ja muut vaikutusarviot kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen puolittamiseksi vuoteen 2030 mennessä ja liikenteen muuttamiseksi nollapäästöiseksi vuoteen 2045 mennessä. Tiekartasta tehtiin periaatepäätökset kaikkien liikennemuotojen osalta toukokuussa 2021. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021)

Keväällä 2020 laadittiin liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) toimeksianosta ns. perusura. Perusura kuvaa tilannetta, johon päädytään nykyisillä päätöksillä (mm. EU:n kiristyvät autojen CO₂-päästörajat, kansallinen 30 %:n jakeluvelvoite nestemäisille biopolttoaineille 2029). Perusurassakin sähköhenkilöautojen lukumäärä on noussut energia- ja ilmastostrategian tavoittelemasta 250 000 yksiköstä 350 000 yksikköön vuonna 2030. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020)

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen politiikkaskenaario, josta käytetään myös nimitystä WAM (With Addition Measures), julkaistiin Liikenne- ja viestintäministeriön toimesta fossiilittomaan tiekartan yhteydessä vuonna 2021. WAM skenaariossa tieliikenteen CO₂-päästöt putoavat noin 50 % vuoteen 2030 mennessä ja noin 97 % vuoteen 2045 mennessä (verrattuna vuoden 2005 tasoon). Rautatieliikenteen päästöt putoavat noin 52 % vuoteen 2030 mennessä ja pysyvät sen jälkeen samoissa lukemissa vuoteen 2045. Vesiliikenteen päästöt vähenevät noin 27 % vuoteen 2030 ja 37 % vuoteen 2045 mennessä. Yhteensä kotimaan liikenteen päästöt putoavat noin 49 % vuoteen 2030 mennessä ja 93 % vuoteen 2045 mennessä. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)

Fossiilittoman liikenteen tiekartassa on käsitelty otsikkotasolla tieliikennettä, raideliikennettä, lentoliikennettä ja meri- ja sisävesiliikennettä pääpainon ollessa tieliikenteessä. Tiekartta ei varsinaisesti ota kantaa työkonoiden polttoaineisiin, mutta esim. meri- ja sisävesiliikenteeseen liittyen työkonista (sata-makoneista) todetaan seuraavaa: "Satamien terminaaliliikenteen tulisi olla lähes täysin päästötöntä 2050. Tavoitteena on, että kaikki uudet työkonet ja laitteet olisivat jonkin vaihtoehtoisen käyttövoiman käyttöön sopivia vuodesta 2030 eteenpäin". (Söderena, ym., 2021)

Tiekartassa meri- ja sisävesiliikenteen päästövähennyksiä on käsitelty varsin laajasti ja monipuolisesti. Mahdollisina vaihtoehtoisina käyttövoimina luetaan LNG/LBG, biopolttoaineet ja synteettiset polttoaineet, vety, metanoli, ammoniakki ja jopa ydinvoima. Näille ei kuitenkaan ole esitetty numeraalisia tavoitteita. Sähköä on käsitelty maantielautta- ja yhteysalusliikenteen yhteydessä, ja tässä on esitetty numeraalisia tavoitteita. Maantielauttaliikenteessä vähintään 25 % (10 kpl) aluksista on sähköllä kulkevia vuonna 2030 ja vähintään 80 % (32 kpl) vuonna 2040. Yhteysalusliikenteessä vähintään 15 % (2 kpl) aluksista on sähköllä kulkevia vuonna 2030 ja vähintään 75 % (10 kpl) vuonna 2045.

Vuonna 2015 tuli voimaan kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n (International Maritime Organization) rikkirajat Emission Control Areas (ECAS) alueilla, johon muun muassa Itämeri ja Pohjameri kuuluu. Sallittu polttoaineen rikkipitoisuus (ilman rikkipesureita) on tällä hetkellä 0,1 massaprosenttia. Vuoden 2020 alussa päästöraja aleni myös globaalisti 0,5 massaprosenttiin. (IMO, 2021c)

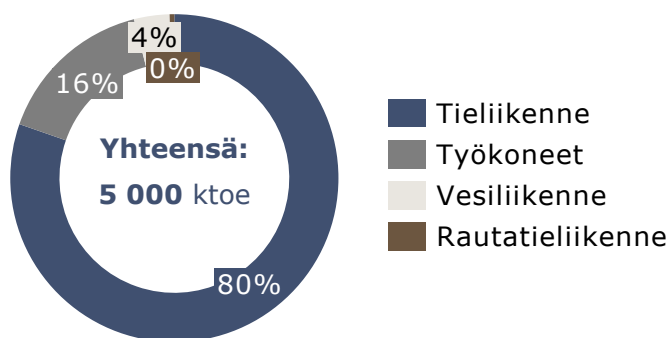
Vuonna 2021 on edessä monta ilmastopolitiikkaan liittyvää päätöstä. Kesällä Suomen hallitus julkaisee esityksen uudesta ilmastolaista ja tietoa EU:n kiristyvistä päästötavoitteista. Lisäksi syksyllä julkaistaan Suomen uusi ilmasto- ja energiastrategia ja talvella linjataan verotukseen liittyviä asioita.

4 Liikenteen käyttövoimien ja polttoaineiden nykytila ja historiallinen kehitys

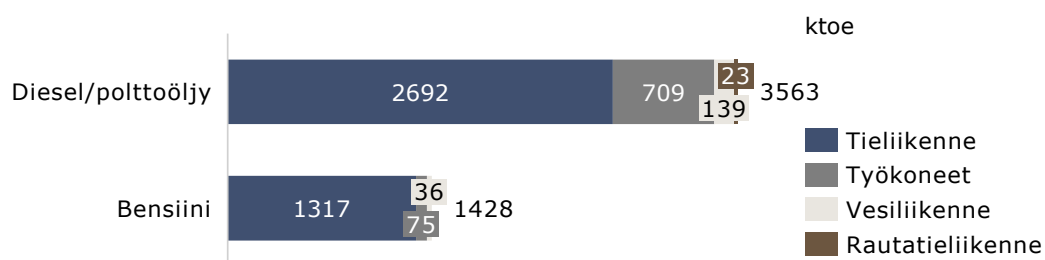
Suomen ajoneuvokanta on vanhentunut viimeisen kymmenen vuoden aikana ja eri liikennesektoreista tieliikenne kuluttaa suurimman osan kotimaan polttonesteistä. Vaihtoehtoisten ajoneuvotyyppien määrä tieliikenteessä on vielä marginaalinen, mutta niiden osuus on kasvussa muun muassa erilaisten säädöksiä johdosta. Käyttövoimista sähkö on lisääntynyt niin henkilöautoissa kuin linja-autoissakin ja sähköistymisen odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa. Polttonesteiden kulutus oli 5 000 ktoe:ta vuonna 2019, joista 80 % kohdistui tieliikenteeseen. Biopolttoaineiden käytössä Suomi kuuluu edelläkävijöihin, biopolttoaineille asetetun velvoitteen ollessa 18 % vuodelle 2021 nousten 30 %:iin vuonna 2029.

4.1 Yleistä

Vuonna 2019 kotimaan polttonesteiden kulutus oli noin 5 000 ktoe (kuva 3). Polttonesteiden kulutuksesta 80 % kohdistui tieliikenteeseen, 16 % työkoneisiin ja 4 % kotimaan vesiliikenteeseen. Kotimaan polttonesteestä bensiinin kulutus oli noin 30 % ja diesel/polttoöljyn kulutus 70 % (kuva 4). Tieliikenne kattoi noin 76 % ja työkoneet 20 % diesel/polttoöljystä. Suurin osa, peräti 92 % bensiinin kulutuksesta oli tieliikenteessä. (VTT, 2019; Tilastokeskus, 2020)



Kuva 3 Kotimaan polttonesteiden kulutus yhteensä jaettuna käyttövoimittain vuonna 2019 (VTT, 2019; Tilastokeskus, 2020)

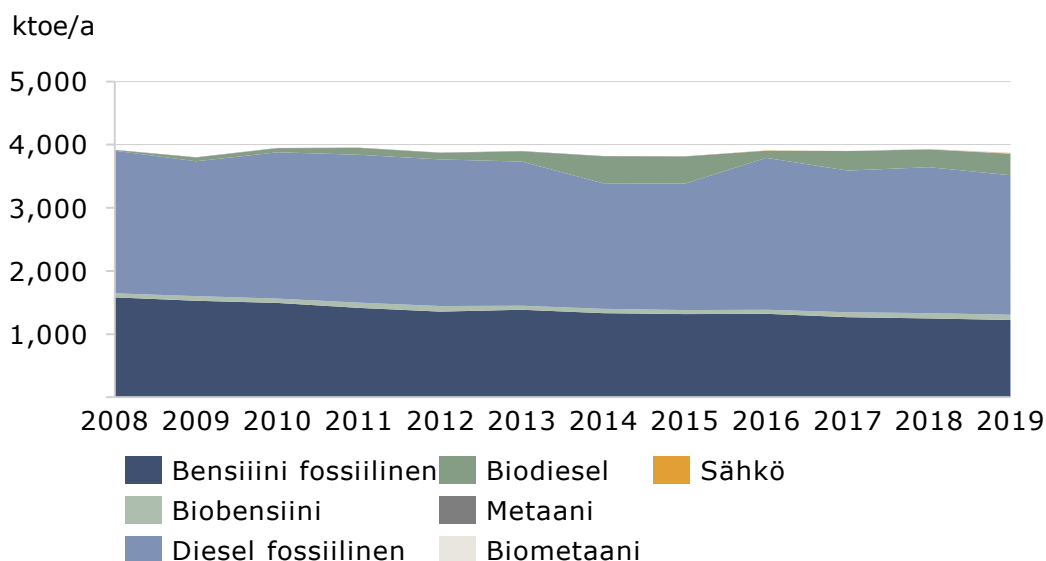


Kuva 4 Kotimaan polttonesteiden kulutus vuonna 2019 (ktoe) (VTT, 2019; Tilastokeskus, 2020)

4.2 Tieliikenne

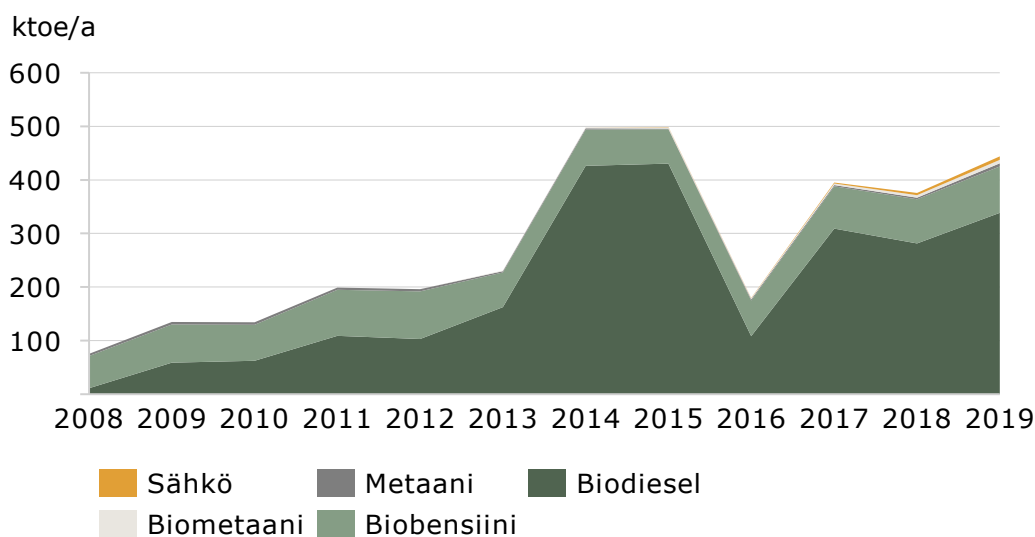
Tieliikenteen kuluttama kokonaisenergian määrä ei juurikaan ole muuttunut viimeisen kymmenen vuoden aikana (kuva 5). Vuosien 2008-2019 aikana tieliikenteen kokonaisenergiämäärä on ollut vuosittain noin 3 900 ktoe. (Tilastokeskus, 2020). Tässä luvussa tilastokeskuksen tilastoihin perustuvissa kuvissa on käytetty tilastokeskuksen polttoainetermejä, jotka poikkeavat hie- man tavanomaisista alan termeistä. Tilastokeskuksen biobensiinillä tarkoite- taan käytännössä bioetanolia ja biodieselillä käytännössä uusiutuvaa dieseliä eli HVO:ta.

Vuonna 2020 henkilöautot kuluttivat polttonesteitä eniten, 2 116 ktoe/a. Vuo- den 2020 lopussa kuorma-autoja oli määrällisesti vähemmän kuin pakettiau- toja, mutta ne kuluttivat enemmän polttonesteitä. Kuorma-autojen polttones- teiden kulutus oli 1 311 ktoe/a, kun taas pakettiautojen 319 ktoe/a.



Kuva 5 Tieliikenteen polttoainejakauma 2008-2019 (ktoe/a) (Tilastokeskus, 2020)

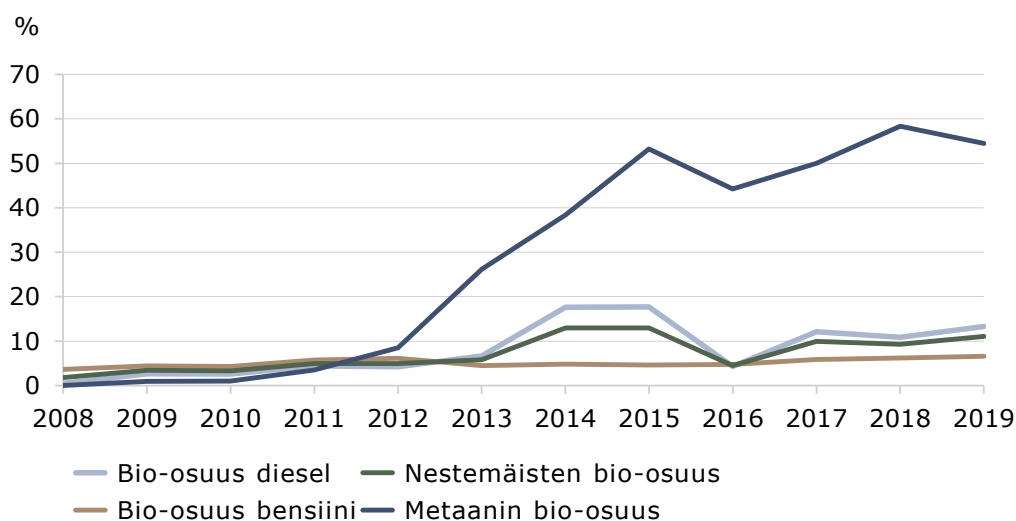
Vaihtoehtoisia energialähteitä kulutettiin tieliikenteessä yhteensä 444 ktoe vuonna 2019, mikä vastasi 11,5 % tieliikenteen kokonaisenergian kulutuksesta. Vaihtoehtoisista energialähteistä biodieseliä (Tilastokeskuksen käyttämä termi, käytännössä uusiutuvaa dieseliä, HVO:ta) kulutettiin tieliikenteessä eniten. Seuraavaksi eniten kulutettiin biobensiiniä eli käytännössä etanolia. Muiden vaihtoehtoisten energialähteiden, kuten metaanin, biometaanin ja sähkön, kulutus on ollut hyvin vähäistä verrattuna biodieselin ja biobensiinin kulutukseen ja nämä energialähteet eivät juurikaan erotu edes vaihtoehtojen sisällä (kuva 6). Vuonna 2019 biodieselin kulutus oli 339 ktoe, biobensiinin 86 ktoe, biometaanin 7 ktoe, metaanin (maakaasu) 6 ktoe ja sähkön 6 ktoe. Sähkön kulutus on esitetty sähkönä. Sähköllä korvautuva polttoainemäärä olisi noin 17 ktoe. (Tilastokeskus, 2020)



Kuva 6 Vaihtoehtoisten energioiden määrä tieliikenteessä (Tilastokeskus, 2020)

Vuonna 2019 bensiinin bio-osuus oli 6,6 %, dieselin 13,3 % (ts. nestemäisillä polttoaineille keskimäärin 11,0%) ja metaanin 54,5 %. Suomen jakeluvuolovelvoite laki sallii jouston vuosien välillä (kuva 7). Toisin sanoen, jos polttoainejakelija on toimittanut kulutukseen enemmän biopolttoaineita kuin Suomen jakeluvuolovelvoite laki vaatii, niin jakelija voi ottaa huomioon ylimenevän osan eli ylitäytön seuraavana kalenterivuonna jakeluvuolovelvoitetta laskiessa. (Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä, 2008) Tästä johtuen ylitäyttö näkyy kuvassa 7 korkeampana bio-osuutena vuosina 2014 ja 2015 ja vastaavasti bio-osuus on laskenut huomattavasti vuonna 2016.

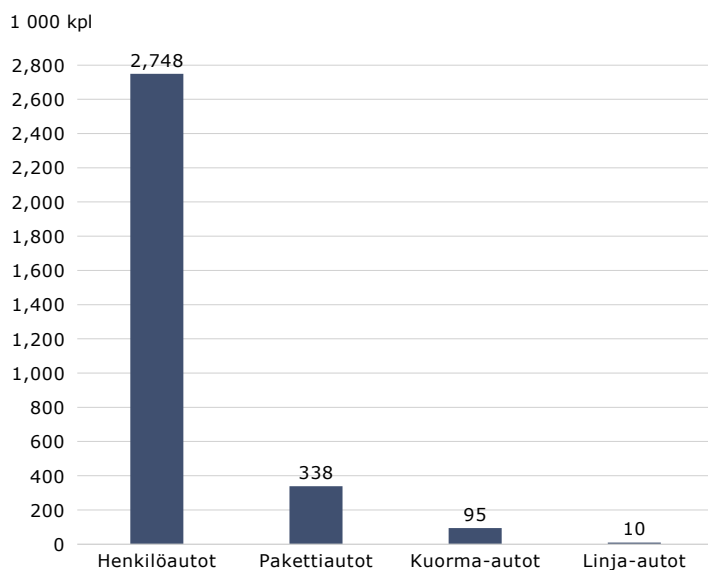
Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä (1420/2010) edellytti vuodelle 2019 18 prosentin bio-osuutta nestemäisissä polttoaineissa kaksoislaskenta huomioiden. Kaksoislaskennalla tarkoitetaan, että biopolttoaineen energiasisällön lasketaan täyttävän jakeluvuolovelvoitetta kaksinkertaisena, jos se on valmistettu lain (446/2007) liitteessä määritetyistä raaka-aineista. Näitä raaka-aineita ovat esimerkiksi jätteet ja tähteet, syötäväksi kelpaamaton selluloosa ja lignoselluloosa. (Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä, 2019).



Kuva 7 Dieselin, bensiinin ja metaanin bio-osuuden kehitys vuosina 2008-2019 (Tilastokeskus, 2020)

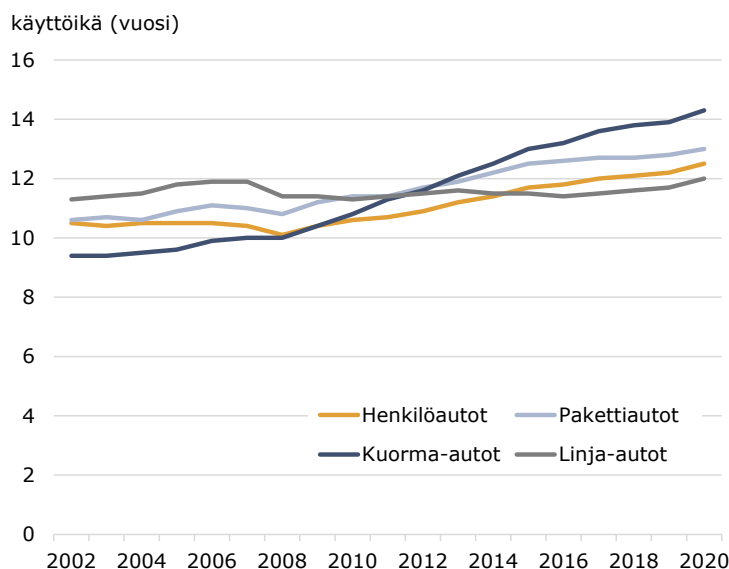
Vuoden 2020 lopulla liikennekäytössä olevia autoja oli Suomessa yhteensä noin 3,2 miljoonaa kappaletta (henkilöautot, pakettiautot, kuorma-autot ja linja-autot yhteensä) (kuva 8). Liikennekäytössä olevista autoista henkilöautoja oli noin 86 % (2 748 400 kpl), pakettiautoja 10,6 % (338 390 kpl), kuorma-autoja 3 % (94 600 kpl) ja linja-autoja 0,3 % (9 955 kpl). Henkilöautoista 2,6 %, pakettiautoista 0,4 %, kuorma-autoista 0,4 % ja linja-autoista 1,5 % käyttivät vaihtoehtoisia käyttövoimia. (Traficom, 2021a)

Henkilö- ja pakettiautojen määrä on ollut kasvussa, kun taas kuorma-autojen määrä on pysynyt lähes vakiona vuosien 2008-2020 aikana. Kuorma-autoista 72 % oli perävaunuttomia ja 28 % perävaunullisia vuonna 2020. Liikennekäytössä olevien linja-autojen määrässä on tapahtunut lasku vuonna 2020. Tämä johtuu todennäköisesti koronaviruspandemiasta. (Traficom, 2021a)



Kuva 8 Liikennekäytössä olevien autojen lukumäärä autoluokittain Q4/2020 (Traficom, 2021a)

Suomen ajoneuvokannan käyttöikä on tasaisesti noussut viimeisen kymmenen vuoden aikana niin henkilöautoissa, pakettiautoissa kuin kuorma-autoissakin (kuva 9). Kuorma-autojen keski-ikä on noussut kaikista eniten. Vuonna 2002 kaikkien autoluokkien keski-ikä oli alle 12 vuotta. Tällä hetkellä kaikissa luokissa keski-ikä on 12 vuotta tai peräti yli 12 vuotta.



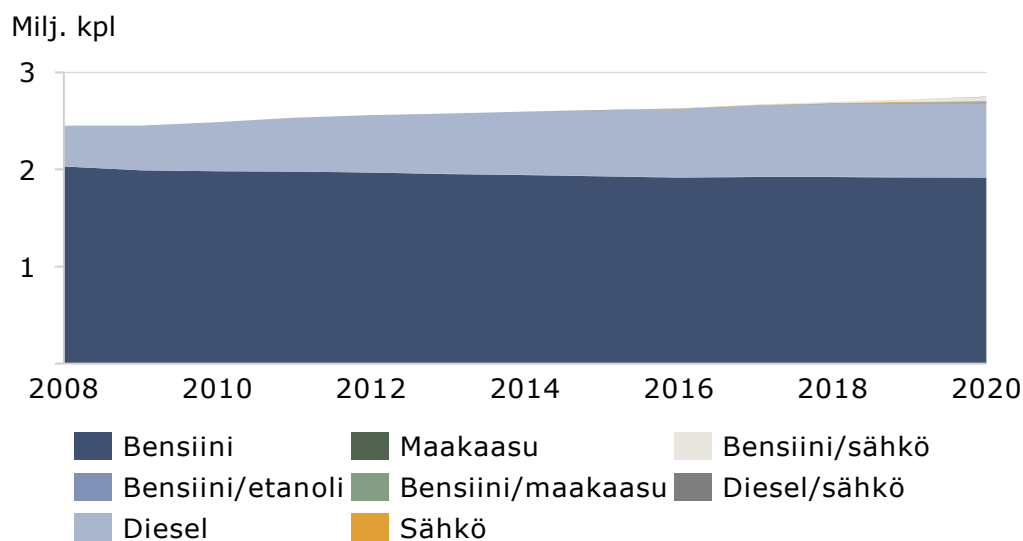
Kuva 9 Autojen keski-ikä kehitys (Autoalan tiedotuskeskus, 2021a)

Suomen 2,7 miljoonasta henkilöautosta noin 97,4 prosenttia oli bensiini- tai dieselautoja, eli varsinaisten vaihtoehtoisten käyttövoimien osuus oli 2,6 %. Bensiini oli Suomen henkilöautokannan suurin käyttövoima, noin 70 prosentin osuudella vuonna 2020. Diesel oli seuraavaksi suurin käyttövoima noin 28 prosentin osuudella. Autokanta on alkanut muuttumaan viimeisen viiden vuoden aikana, mutta muutos on hidasta. Henkilöautoissa vaihtoehtoiset ajoneuvot erottuvat juuri ja juuri kannassa (kuvat 10 ja 11). Sähkö on vielä marginaalinen käyttövoima, noin 0,35% henkilöautokannasta.

Henkilöautojen vaihtoehtoisissa käyttövoimissa ladattavien hybridien (bensiini) määrä on lisääntynyt voimakkaasti vuoden 2016 jälkeen. Ladattavat hybridit ja täyssähköautot ovat lähes 80 % henkilöautojen vaihtoehtoisista käyttövoimista. (Traficom, 2021a)

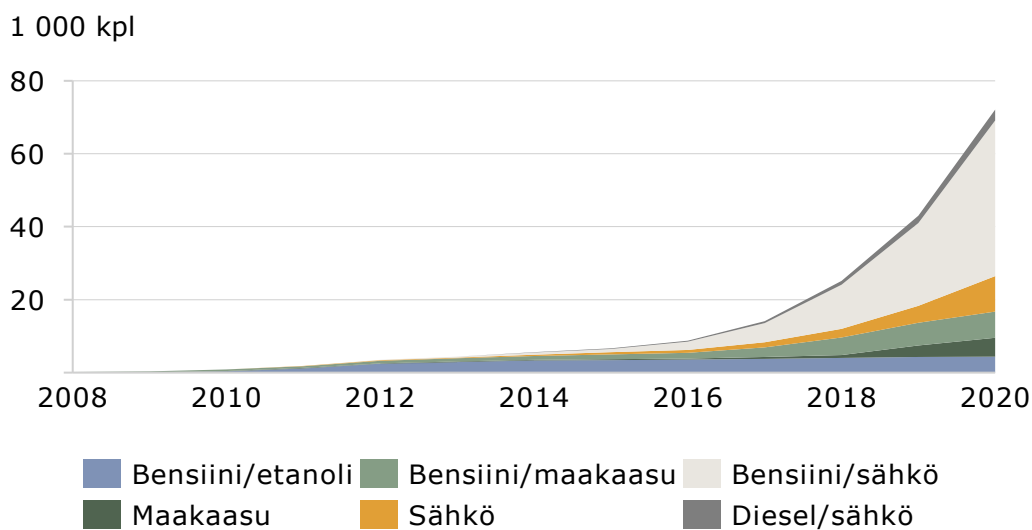
Kaasuautojen määrän kasvu on tasaantunut viime vuosina muun muassa kaasuautojen tarjonnan supistumisen takia. Huomioitava on, että uusimmissa kaasuautoissa on alle 10 litran bensiinisäiliö, ja ne luokitellaan ryhmään "maakaasuautot". Uusissa kaasuautoissa olevat pienet bensiinisäiliöt laskevat autojen käytettävyyttä tilanteessa, jossa kaasua ei ole tarjolla. Vanhemmat kaasuautot, jotka on varustettu suuremmalla bensiinisäiliöllä luokitellaan kaksoispolttoaineautoiksi. (Traficom, 2021a)

Vaihtoehtoisten käyttövoimien osalta pakettiautoissa metaanikäyttöiset autot ovat 60 % vaihtoehtoisista käyttövoimista. Linja-autokannassa sähköistyminen on taas lisääntynyt pääasiassa kaupunkilinja-autoissa. Esimerkiksi Helsingin seudun liikenteen tilaamasta uudesta liikenteestä tullaan ajamaan sähköllä. Kaasu linja-autojen maksimaalinen määrä saavutettiin jo vuonna 2010. (Traficom, 2021a)



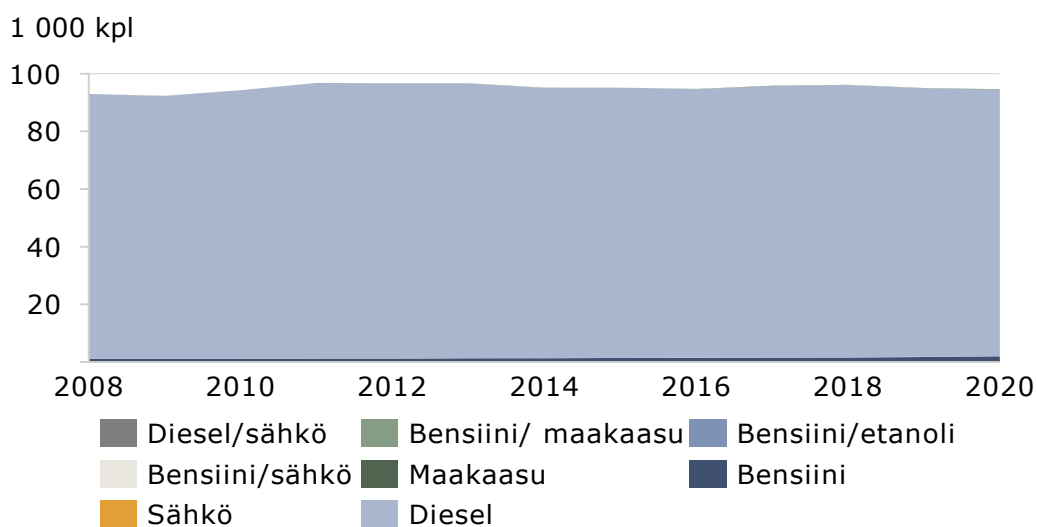
Kuva 10 Suomen henkilöautokannan käyttövoimat (Traficom, 2021a)

Isossa kuvassa vaihtoehtoiset käyttövoimat eivät vielä erotu, mutta viimeisten vuosien aikana muutos on ollut huomattavissa. Sähköautojen määrä on voimakkaasti kasvanut viimeisen viiden vuoden aikana. Vuonna 2015 sähköautoja oli vain noin 610 ja vuonna 2020 vastaava luku oli noin 9700 kappaletta. Lisäksi bensiini/sähkö hybridiautojen määrä on myös voimakkaasti kasvanut viimeisen viiden vuoden aikana. Vuonna 2015 bensiini/sähkö hybridiautoja oli noin 940 ja vuonna 2020 peräti yli 42 600 kappaletta. Myös diesel/sähkö hybridiautojen määrä on kasvanut, mutta vähemmän kuin bensiini/sähkö hybridiautojen. Vuonna 2020 oli noin 2 960 diesel/sähkö hybridiautoa. Kaasuautojen määrät ovat myös kasvaneet, mutta eivät niin merkittävästi kuin bensiini/sähkö hybridiautot ja sähköautot.



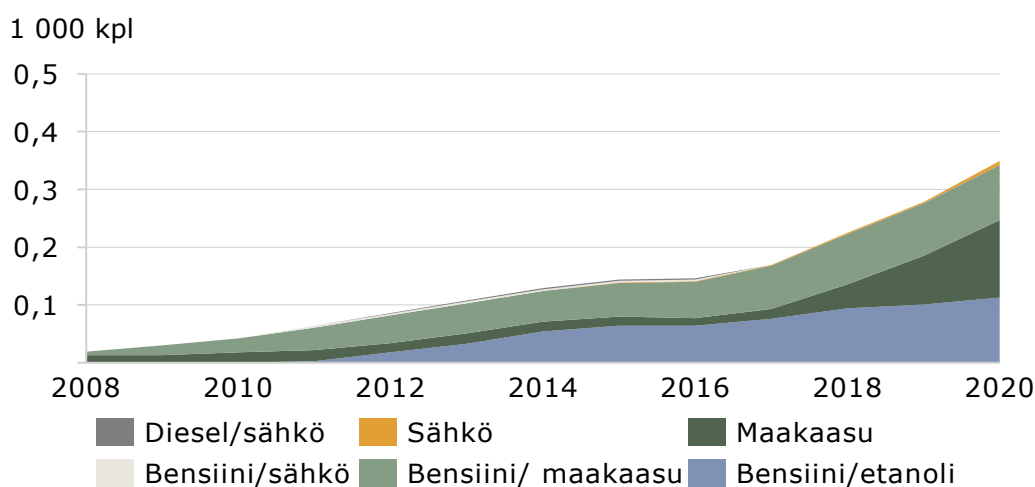
Kuva 11 Suomen henkilöautokannan vaihtoehtoiset käyttövoimat (Traficom, 2021a)

Suomessa oli noin 94 600 kuorma-autoa vuonna 2020. Noin 98 prosenttia koko kuorma-autokannasta oli dieselkäyttöisiä vastaten noin 92 300 kuorma-autoa. Bensiinillä toimivia keveitä kuorma-autoja (pick-up tyyppiset autot) oli noin 1 900 kappaletta vuonna 2020. Kokonaisuutta katsottaessa kuorma-autojen määrä on hieman laskenut viimeisen kahden vuoden aikana, mutta pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna pysynyt melko vakaana. (Kuva 12)



Kuva 12 Suomen kuorma-autokanta (Traficom, 2021a)

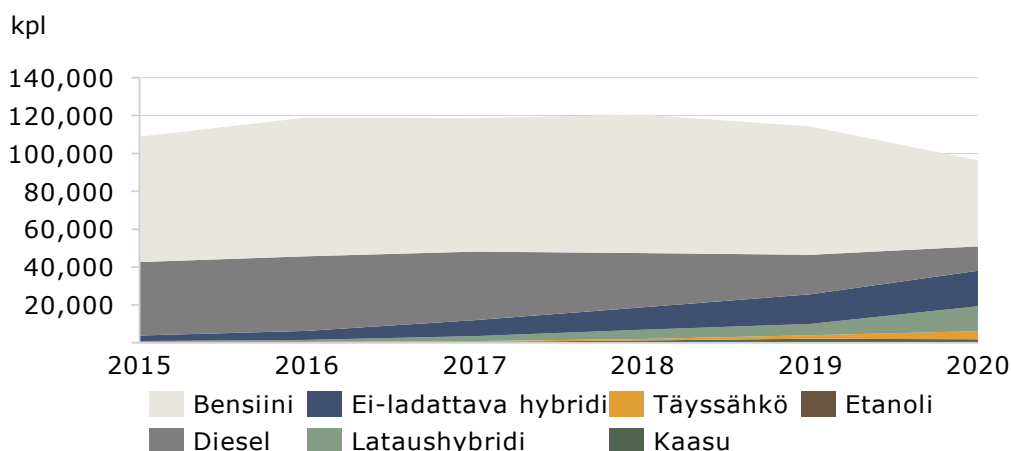
Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivia kuorma-autoja oli noin 350 kappaletta vuonna 2020, joka on vain 0,4 % koko Suomen kuorma-autokannasta. Vaihtoehtoisten käyttövoimien kasvu kuorma-autokannassa on ollut hitaampaa kuin henkilöautokannassa, jossa vaihtoehtoiset käyttövoimat vastaavat jo 2,6 prosenttia koko henkilöautokannasta. Bensiini/etanoli kuorma-autojen määrä on kasvanut 65 kuorma-autosta vuonna 2015 noin 115 kuorma-autoon vuoteen 2020 mennessä (lähinnä amerikkalaisia FFV pick-up autoja). Myös bensiini/maakaasu (kevyet kuorma-autot) ja maakaasu kuorma-autojen määrä on kasvanut viimeisen vuosien aikana. (Kuva 13)



Kuva 13 Suomen kuorma-autokannan vaihtoehtoiset käyttövoimat (Traficom, 2021a)

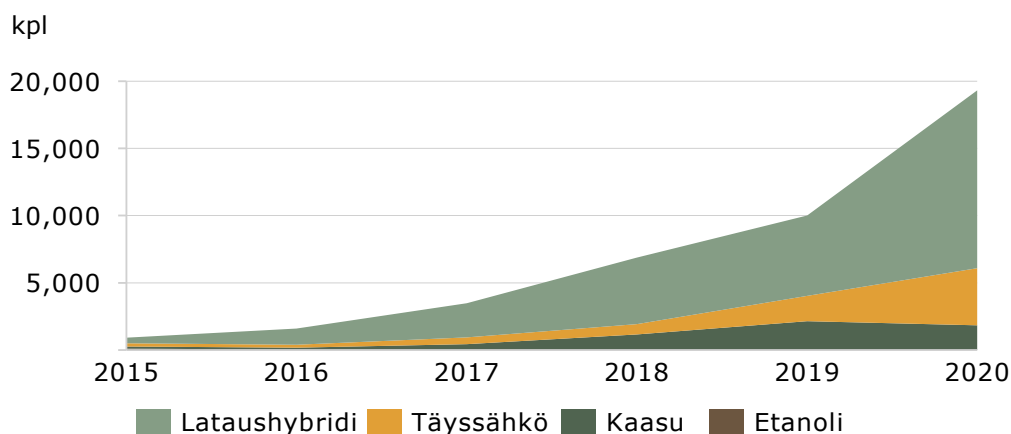
Seuraavissa kuvissa on esitetty ajoneuvojen ensirekisteröintejä vuodesta 2015 eteenpäin, jolloin vaihtoehtoisten käyttövoimien määrä ensirekisteröinneistä on alkanut kasvamaan merkittävästi. Ensirekisteröinnillä tarkoitetaan uuden ajoneuvon ensimmäistä rekisteröintiä Suomessa.

Vuonna 2020 Suomessa ensirekisteröitiin 96 400 kappaletta henkilöautoja. Ensirekisteröidyistä henkilöautoista noin 47 % oli bensiinikäyttöisiä, noin 19 % ei-ladattavia hybridautoja eli niin sanottuja itselataavia hybridejä), noin 14 % lataushybridejä, 13 % dieselkäyttöisiä, noin 4 % täyssähköisiä ja 2 % kaasukäyttöisiä henkilöautoja (Kuva 14). Bensiinikäyttöisten henkilöautojen ensirekisteröinti on vähentynyt viimeisen kahden vuoden aikana. Vielä vuonna 2018 ensirekisteröintiin noin 73 100 bensiinikäyttöistä henkilöautoa, kun taas vuonna 2020 vain noin 45 600 kappaletta. Myös dieselkäyttöisten henkilöautojen ensirekisteröinti on merkittävästi vähentynyt. Vuonna 2018 ensirekisteröitiin noin 28 700 dieselkäyttöistä henkilöautoa, kun taas vuonna 2020 vain noin 12 800 dieselkäyttöistä henkilöautoa.



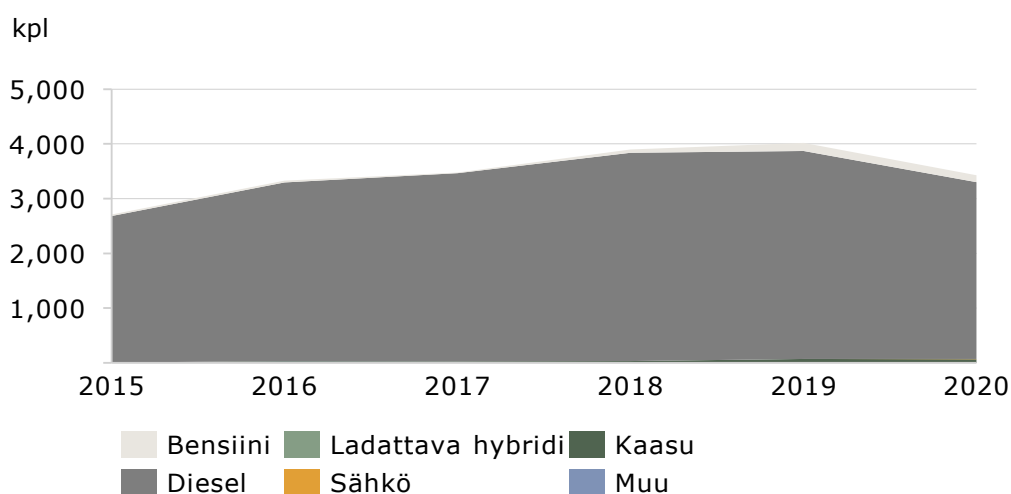
Kuva 14 Henkilöautojen ensirekisteröinnit (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)

Lataushybridi henkilöautojen kuin täyssähköautojen ensirekisteröintimäärät ovat olleet viime aikoina kasvussa (Kuva 15). Vielä vuonna 2015 lataushybridi henkilöautoja ensirekisteröitiin vain noin 420 kappaletta kun taas vuonna 2020 peräti noin 13 200 kappaletta. Vuosittainen kasvuprosentti lataushybridi henkilöautoille on ollut lähes 100 prosenttia. Täyssähkö autoja rekisteröitiin vuonna 2015 noin 240 kappaletta ja vuonna 2020 noin 4 240 kappaletta. Vuosittainen kasvuprosentti täyssähkö henkilöautoille on ollut noin 77 prosenttia. Kaasu henkilöautojen ensirekisteröintimäärät ovat kasvaneet vuosien 2015 ja 2019 välillä, mutta vuonna 2020 rekisteröitiin noin 300 kaasuautoa vähemmän kuin vuonna 2019. Kaasu henkilöautoja rekisteröitiin vuonna 2020 noin 1 840 kappaletta.



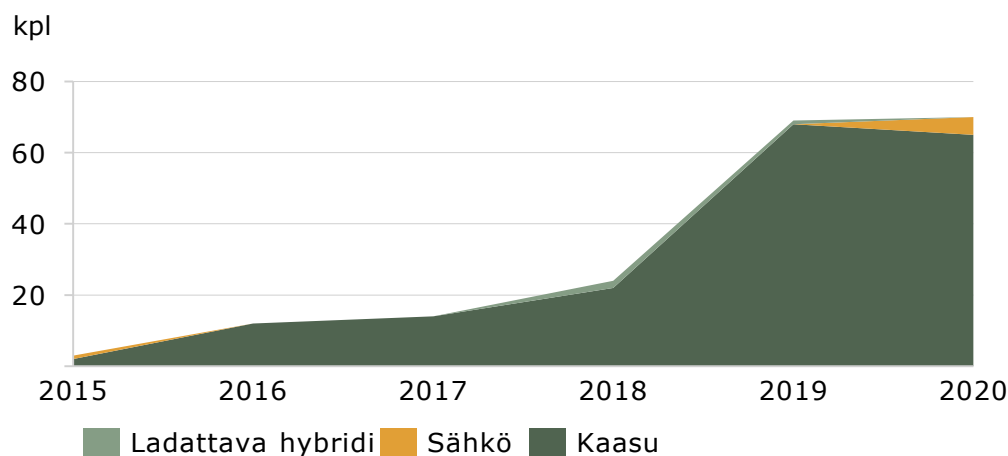
Kuva 15 Henkilöautojen ensirekisteröinnit - vaihtoehtoiset käyttövoimat (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)

Vuonna 2020 Suomessa ensirekisteröitiin noin 3 400 kuorma-autoa. Viimeisen viiden vuoden aikana eniten kuorma-autoja ensirekisteröitiin Suomessa vuonna 2019 noin 4 000 kappaletta. Kuorma-autojen ensirekisteröintimäärissä on huomattavissa vuosittaista vaihtelua (Kuva 16). Suurin osa ensirekisteröitävistä kuorma-autoista on dieselkäyttöisiä kuorma-autoja, peräti 94 prosenttia vuonna 2020. Bensiinikäyttöisiä keveitä kuorma-autoja ensirekisteröitiin vuonna noin 4 % ensirekisteröidyistä kuorma-autoista.



Kuva 16 Kuorma-autojen ensirekisteröinnit (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)

Vaihtoehtoisilla käyttövoimilla toimivat kuorma-autot olivat vain noin 2 prosenttia ensirekisteröitävistä kuorma-autoista vuonna 2020, vuonna 2015 vastaava luku oli 0,1 prosenttia. Kaasukäyttöisten kuorma-autojen ensirekisteröinti on kasvanut huomattavasti viimeisen viiden vuoden aikana (Kuva 17). Vuosina 2015-2020 ensirekisteröitiin 183 kaasukäyttöistä kuorma-autoa ja vain 6 sähkökäyttöistä kuorma-autoa, joista 5 kappaletta ensirekisteröitiin vuonna 2020. Vertaillen kuorma-autojen ja henkilöautojen ensirekisteröityjä ajoneuvoja huomataan, että henkilöautojen käyttövoimien muutos on ollut nopeampaa viime vuosina kuin kuorma-autojen. Lisäksi kuorma-autojen ensirekisteröinnissä kaasu on vaihtoehtoisista käyttövoimista suurin, kun taas henkilöautojen puolella ladattava hybridi. Erot ovat merkittäviä ajoneuvotyyppittäin.

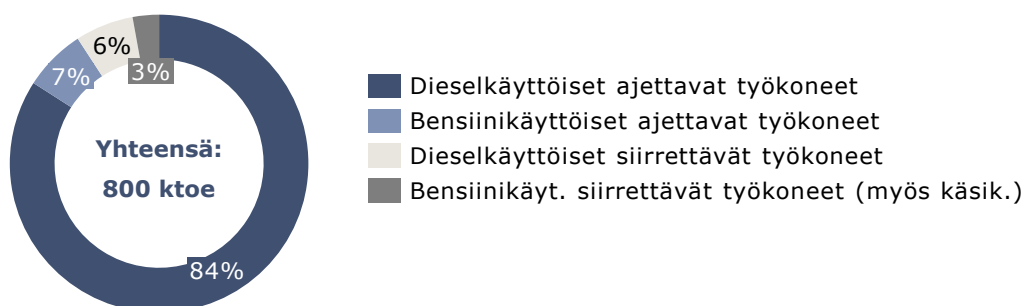


Kuva 17 Kuorma-autojen ensirekisteröinnit - vaihtoehtoiset käyttövoimat (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)

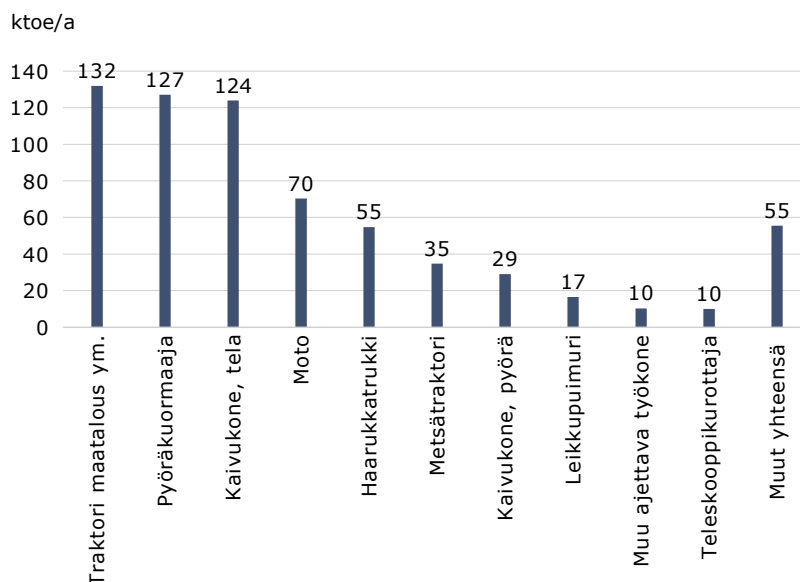
4.3 Työkoneet

Tässä raportissa esitettävät tiedot työkoneista perustuvat VTT:n TYKO-laskentajärjestelmään (VTT, 2019). TYKO-laskentajärjestelmä on VTT:ssä kehitetty Suomen työkoneiden päästölaskentamalli. TYKO-laskentajärjestelmässä on 50 eri työkoneyyppiä maastoajoneuvot mukaan lukien. Laskentajärjestelmän kulutus- ja päästölaskenta perustuu kalustomääriin, koneiden nimellistehoon, kuormitusasteeseen, vuotuisen käyttötuntimäärään ja näitä vastaaviin kulutus- ja päästökertoimiin. TYKO-laskentajärjestelmän ennusteissa on epävarmuustekijöitä, koska mikään ulkopuolinen taho ei tuota lähtötietojen ennusteita vaan ne perustuvat VTT:n asiantuntijoiden arvioon.

Vuonna 2019 työkoneissa käytettiin polttoainetta yhteensä noin 800 ktoe, mikä on noin 20 % tieliikenteen polttoainemäärästä. Työkoneiden polttoaineen kulutuksesta 84 % on peräisin dieselkäyttöisistä ajettavista työkoneista, ja noin 90 % kulutuksesta kaikista dieselkäyttöisistä työkoneista (kuva 18 ja 19).



Kuva 18 Työkoneiden polttoaineen kulutus vuonna 2019 (VTT, 2019)

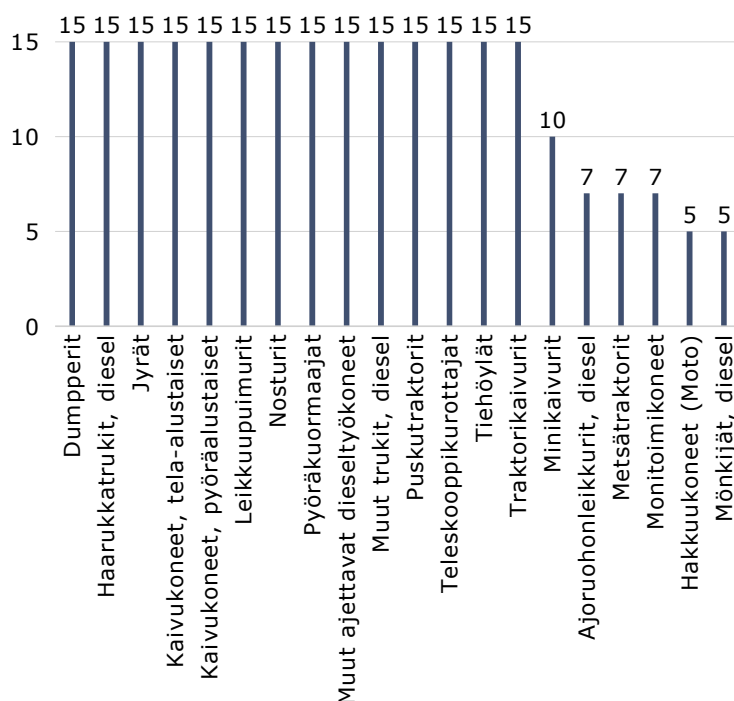


Kuva 19 Ajettavien dieselkonien polttoaineen kulutus (VTT, 2019)

Nestekaasua (LPG) käytetään jossakin määrin esimerkiksi pienemmissä haarukkatrukeissa. Nestekaasun kulutus oli 3 387 tonnia vuonna 2020, eli marginaalinen dieseliin verrattuna.

Työkoneista suurin koneryhmä on traktorit, joita on noin 360 000 kappaletta. Muissa konetyypeissä kappalemäärät jäävät alle 20 000 kappaleeseen. Työkoneista ei ole olemassa tarkkoja ikätietoja. TYKO-mallissa esitellyt ikätiedot ovat arvioita ja perustuvat Yhdysvaltalaisen Environmental Protection Agency:n (EPA) lukuihin, joita on joidenkin koneryhmien osalta muutettu paremmin Suomen oloihin soveltuviksi. Useimmissa luokissa keski-ikä on arvioitu 15 vuotta, mutta hakkuukoneiden ja mönkijöiden keski-ikä on arvioitu viiteen vuoteen (kuva 20).

käyttöikä (vuosi)



Kuva 20 Ajettavien dieseltäykoneiden keski-ikä vuonna 2019 (VTT, 2019)

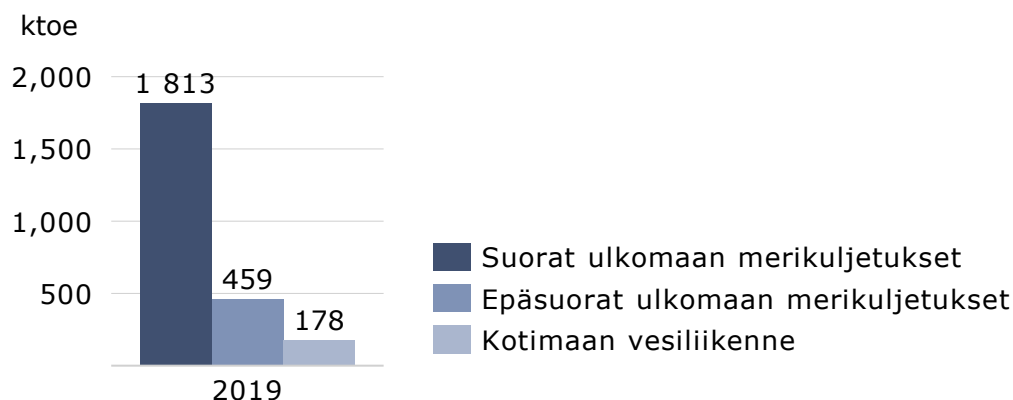
4.4 Vesiliikenne

Vesiliikenteen osalta ei ole käytettävissä samankaltaista ja vertailtavuudeltaan yhtä yksityiskohtaista tilastotietoa kuin tieliikenteen osalta. Tilastokeskus tilastoi kotimaan vesiliikenteen polttoainemäärät, mutta ne edustavat vain murto-osaa vesiliikenteen koko polttoainemäärästä, koska suurin osa polttoainemäärästä on peräisin ulkomaan vesiliikenteestä. Kotimaan vesiliikenteellä tarkoitetaan huviveneiden, työalusten, kalastusalusten ja jäänmurtaajien lisäksi laivaliikennettä, joka liikennöi kahden suomalaisen sataman välillä. Ulkomaan merikuljetukset voidaan jakaa kahteen kategoriaan: suoriin ja epäsuoriin merikuljetuksiin. Suorilla ulkomaan merikuljetuksilla tarkoitetaan kuljetuksia, jotka kulkevat Suomen satamien ja varsinaisten pääte- tai alkusatamien väliä. Epäsuorilla merikuljetuksilla sen sijaan tarkoitetaan kuljetuksia, jotka kulkevat eurooppalaisen välisataman, esimerkiksi Rotterdamin kautta. Tämä ei ole yleinen tapa määritellä vesiliikennettä, mutta huoltovarmuutta käsiteltäessä relevantti. Valtioneuvoston päätöksessä 1048/2018 todetaan, että ”Suomen sijainnista johtuen varautumisessa painotetaan välttämättömien ympärivuotisten merikuljetusten sekä satamien ja niiden toimintaa tukevien verkostojen

toimivuutta. Kriittinen satamaverkosto on kansallisesti turvattavaa infrastruktuuria.” (Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista, 2018)

Kotimaan vesiliikenteen yksittäisten sektorien polttoaineiden kulutus perustuu kotimaan vesiliikenteen osalta MEERI-malliin (VTT, 2019). MEERI- malli on VTT:ssä kehitetty Suomen vesiliikenteen pakokaasupäästöjen ja kulutuksen laskentamalli. Mallin laskenta perustuu suoritteiden ja niitä vastaavien päästökertoimien tuloon. Suoritteilla tarkoitetaan satamien välillä ajettuja laivakilometrejä, käyntimäärät satamassa, ajoajat satamassa ja oloajat laitureissa. Ulkomaan vesiliikenteen polttoaineen kulutus perustuu MERIMA-mallin tuloksiin. MERIMA-mallin laskenta perustuu Suomen kansainvälisen tavaraliikenteen vuositilastoihin alustyypeittäin, kotimaan vesiliikenteen tavarakuljetuksiin ja Tullin ulkomaankauppatilastojen logistiikkatilastoihin. (Traficom, 2021b).

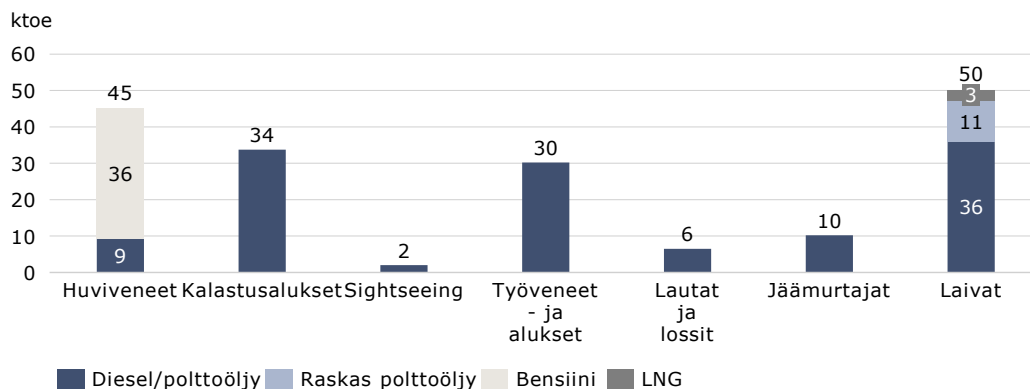
Kotimaan vesiliikenne edustaa noin 7 prosenttia vesiliikenteen kokonaiskulutuksesta. Diesel/polttoöljy on noin 72 %, bensiini 20 %, raskas polttoöljy 6 % ja LNG 2 % kotimaan vesiliikenteen polttoaineista. Sähkö ei toistaiseksi näy tilastoissa. Kuva 21 ei ota kantaa siihen, missä ulkomaan liikenteessä olevat laivat todellisuudessa tankkaavat. Tilastokeskuksen Kari Grönforsin (2021) mukaan ulkomaan meriliikenteeseen tankattiin Suomessa polttoainetta 336 ktoe, josta polttoöljyä (POK) oli 73 ktoe ja raskasta polttoöljyä (POR) 263 ktoe vuonna 2020.



Kuva 21 Suomen vesiliikenteen polttoainemäärät vuonna 2019 (VTT, 2019; Traficom, 2021b)

Kotimaan vesiliikenteen kokonaispolttoainemäärä oli 178 ktoe vuonna 2019. Eniten polttoainetta käyttivät laivat, noin 50 ktoe, joiden jälkeen suurimmat polttoaineen kuluttajat olivat huviveneet (45 ktoe) ja kalastusalukset (24 ktoe). Diesel/polttoöljy oli käytetyin polttoaine kotimaan vesiliikenteessä. Bensiiniä käytettiin polttoaineena lähinnä huviveneissä ja raskasta polttoöljyä laivoissa.

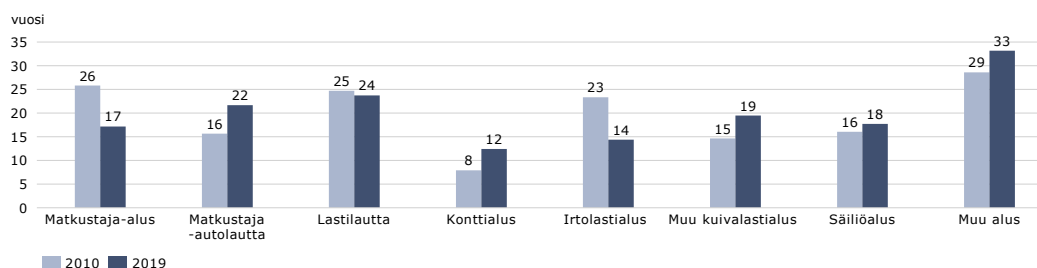
LNG käyttöä on vain laivoissa, minkä osuus oli vuonna 2019 vain 6 % laivojen käyttämästä polttoainemäärästä (kuva 22).



Kuva 22 Kotimaan vesiliikenteen polttoainemäärät vuonna 2019 (VTT, 2019)

Itämerellä liikkui yhteensä 8 710 IMO-rekisteröityä alusta vuonna 2019. Näistä 58 ilmoitti käyttävänsä LNG:tä ja Dual-fuel koneita (diesel + LNG) on kuitenkin 81 laivassa moottorityypeistä päätellen. Dual-fuel moottorit pystyvät antamaan täyden tehon myös pelkällä dieselpolttoaineella, joten ne ovat huoltovarmuuden kannalta varmoja moottorityyppejä.

Suomessa käyneiden laivojen keski-ikä oli 18 vuotta vuonna 2010 ja 21 vuotta vuonna 2019 eli keski-ässä on kolmen vuoden kasvu (kuva 23). Suomen kauppalaivaston koko oli 1 245 alusta maaliskuussa 2021. Varsinaiseen kauppalavastoon kuului 678 alusta ja pienaluksiin 286 alusta. Proomuja ja muita kuljetuskoneettomia aluksia oli yhteensä 281 kappaletta. Kauppa-alusluettelossa, johon on pääasiassa kirjattu ulkomaan liikenteessä toimivia aluksia, oli 115 alusta maaliskuussa 2021. Kauppalaivaston bruttovetoisuus eli aluksen kokonaisvetoisuus (GT), joka kuvaa koko laivan tilavuutta oli 1 732 665 ja kauppa-alusluetteloön merkittyjen alusten 1 568 356. (Tilastokeskus, 2021)



Kuva 23 Suomessa käyneiden laivojen keski-ikä vuonna 2010 ja 2019 (VTT, 2019)

5 Käyttövoimien arvioitu kehitys vuosiin 2030 ja 2040

Tämän selvityksen liikenteen käyttövoimien kehityksen tarkastelut perustuvat ensisijaisesti LVM:n perusura skenaarioon ja politiikkaskenaarioon (WAM, With Additional Measures). Nämä poikkeavat toisistaan mm. sähköautomäärien, biometaanin määrän ja energiatehokkuuden osalta. Näiden lisäksi työssä on luotu ja tarkasteltu lisäskenaarioita (sähkötön ja sähkömax) sähköistymisen merkityksen tutkimiseksi. Sähköistymisen aste on suurin yksittäinen polttoainemääriin ja sitä kautta varmuusvarastointivolyymeihin vaikuttava tekijä. Työryhmä näkee, että liikenteen käyttövoimien kehitys tulee asettumaan perusskenaarion ja WAM skenaarion välimaastoon. Vuoden 2020 tieliikenteen polttoaineiden kulutus (pl. sähkö, ml. kaasut) oli 4 010 ktoe/a. Tieliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksen oletetaan laskevan merkittävästi vuoteen 2040. Polttoaineiden kokonaiskulutukseksi arvioitiin noin 2 800 ktoe perusurassa ja 1 630 ktoe WAM-skenaariossa vuonna 2040.

5.1 Yleistä

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteiden tueksi Suomessa on laadittu useita eri skenaarioita, joiden toteutuessa päästövähennystavoitteet voitaisiin kansallisesti saavuttaa. Näitä skenaarioita ovat muun muassa luvussa 3 esitellyt liikenne- ja viestintäministeriön perusura ja fossiilittoman liikenteen tiekartan yhteydessä luotu politiikkaskenaario WAM (With Additional Measures) -skenaario.

Tässä luvussa esitetään mahdollisia polkuja liikenteen käyttövoimien kehitymisestä vuosiin 2030 ja 2040. Tieliikenteen osalta tukeudutaan vahvasti LVM:n, perusura ja WAM, skenaarioihin. LVM:n skenaarioiden rinnalle on lisäksi luotu kaksi täydentävää skenaariota, jossa minimoidaan ja maksimoidaan sähköautojen penetraatio. Näitä eri "kotimaisia" skenaarioita verrataan lisäksi Komission Joint Research Centren (JRC) johdolla muodostettuihin EU tason ennusteisiin autokaluston kehittämisestä.

Tieliikennesektorilla sähköistymisen voidaan olettaa syrjäyttävän eniten polttoaineita, mikä tulee myös heijastumaan polttoaineiden varmuusvarastoinnin volyymeihin. Toisaalta sähköistymisestä syntyy haasteita huoltovarmuuden kannalta, koska sähköautoille ei ole helposti järjestettävissä varapolttoaineita.

Työkoneiden osalta rinnakkaisia skenaarioita ei ole käytettävissä, minkä vuoksi tässä selvityksessä tukeudutaan ensisijaisesti TYKO-laskentamallin lukuihin. Sen sijaan vesiliikenteen osalta käyttövoimaennusteissa käytetään mm. kansainvälisen energiajärjestön IEA:n projektioita.

Vaihtoehtoisia käyttövoimateknologioita ja niiden kehitystä ei tarkastella tässä luvussa. Aihe on huomattavan laaja, jonka vuoksi aihetta on tarkasteltu laajalaisesti erillisessä liitteessä (liite A).

5.2 Tieliikenne

Tieliikenteen osalta tarkastelut on tehty ALIISA autokantamallilla (VTT, 2021b). ALIISA on VTT:ssä kehitetty Suomen autokannan, suoritteiden ja kulutuksen laskentamalli. ALIISA on osa VTT:n kehittämää LIPASTO-laskentajärjestelmää, jolla tuotetaan Suomen viralliset liikenteen ja työkoneiden päästömäärät kansainväliseen raportointiin EU:lle ja YK:lle.

ALIISA mallin lähtökohtana on liikennekäytössä oleva autokanta (1980–2050) ja niiden suoritteet. Autokanta jakautuu viiteen päätyyppiin: henkilöautot, pakettiautot, linja-autot, perävaunuttomat kuorma-autot ja perävaunulliset kuorma-autot. Ajoneuvotyyppinä käyttövoimineen ja tekniikoineen on kaikkiaan 40. Autokantojen automäärät kunakin vuonna määräytyvät autokannan todellisella määrällä historiavuosina. Autokanta sisältää myös käytettynä maahan tuodut autot. Ennusteissa autojen myyntiennusteet sovitetaan niin, että valtakunnallinen suorite-ennuste toteutuu. Autokanta on siten sidoksissa ennustettuun suoritekehitykseen. Mallissa eri ajoneuvotyyppien laskennallinen polttoaineen kulutus kalibroidaan siten, että Suomessa autoliikenteeseen myyty polttoainemäärä toteutuu kunakin vuonna. Kokonaissuorite ennustevuosina perustuu Väyläviraston vuonna 2018 valmistuneeseen valtakunnalliseen liikennesuorite-ennusteeseen (Lapp, ym., 2018).

Tässä selvityksessä ALIISA-mallista on käytetty vuoden 2019 versiota, koska vuodelta 2019 on ollut käytettävissä lopulliset tiedot suoritteista, autokannasta ja polttoaineiden myynnistä. Selvityksessä on myös osittain voitu käyttää vuoden 2020 lopullisia autokantatietoja. ALIISA-mallin autokannan, käyttövoiman jakaumien jne. lähtökohtana ennusteiden osalta on keväällä 2020 tehty perusennuste (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020), jonka on tehnyt Teknologian tutkimuskeskus VTT liikenne- ja viestintäministeriön tilauksesta.

ALIISA-mallissa yksittäisiä muuttujia on säädetty siten, että haluttu tilanne saavutetaan. Esimerkiksi bio-osuuden poisto polttoaineista tuottaa tilanteen, jossa koko suorite ajetaan fossiilisilla polttoaineilla. Muuttamalla sähköautojen

osuutta ennustevuosina saadaan tutkittua sähkön merkitystä autojen energialähteenä.

Maantieliikenteen käyttövoimien kehitystä vuosille 2030 ja 2040 tarkasteltiin kuuden eri skenaarion kautta, joiden pääasialliset sisällöt ja eroavaisuudet on koottu taulukkoon 2. Kaikkien skenaarioiden pohjalla ovat LVM:n perusura ja WAM-skenario, jotka sähköautomäärien lisäksi eroavat toisistaan myös energiatehokkuuden osalta (WAM:issa mukana myös energiatehokkuustoimia). LVM:n skenaarioiden lisäksi luotiin vielä neljä lisäskenaariota ääritapausten määrittämiseksi. Sähköttömät skenaariot osoittavat, mikä polttoaineiden tarve olisi, jos tieliikenteessä ei olisi lainkaan sähköä. Sähköttömät skenaariot ovat kuitenkin epärealistisia eivätkä tule todellisuudessa toteutumaan. Sähkömax-skenaarioissa sen sijaan on tarkasteltu, kuinka paljon sähköautoja voisi enimmillään olla autokaluston uusiutumisenopeuden kannalta. Sähkömax-skenaarioiden perusteella voitiin päätellä, että WAM skenaariossa esitetyt sähköautomäärät ovat alhaisempia tai samalla tasolla kuin määrät, jotka olisi mahdollista saavuttaa pelkästään kaluston uusiutumisenopeutta tarkasteltaessa. Edellä esitettyjä skenaarioita verrataan myös Euroopan Unionin tason ennusteisiin autokaluston kehittymisestä.

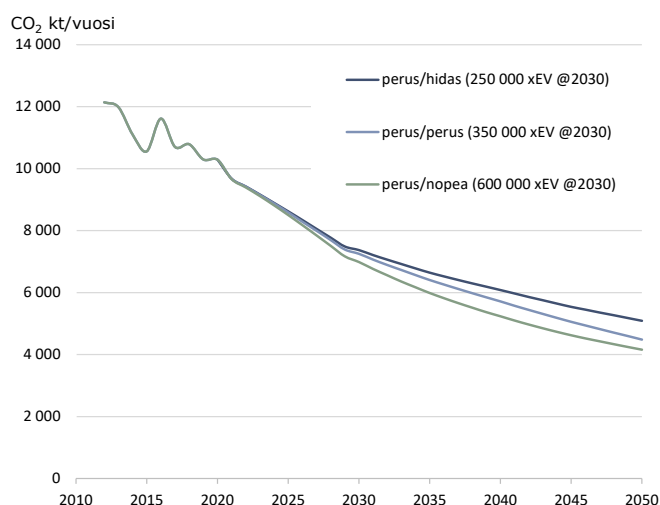
Työryhmä uskoo, että käyttövoimien todellinen kehitys tulee asettumaan johonkin LVM:n perusuran ja WAM skenaarion välimaastoon. Suurimmat epävarmuudet kehityssennusteissa liittyvät liikenteen sähköistymisen nopeuteen.

Taulukko 2 Yhteenvetotaulukko työssä käytetyistä skenaarioista

Skenario	Pohjaskenario	Tarkastelutapa	Sisältö	Käytetty etenemistie
LVM Perusura	LVM:n perusennuste		Hallituksen päättämät politiikkatoimet	ALIISA-malli, sisältää nestemäisten biopolttoaineiden jakeluvelvoitteen ja EU:n ajoneuvomääräysten heijastumat ajoneuvokantaan
LVM "WAM"	Fossiilittoman tiekartan yhteydessä tehty ennuste		"Politiikkaskenario", jossa lisätty sähköautoja ja biometania sekä energiatehokkuustoimia	ALIISA-malli, johon lisätty sähköautoja, biometania sekä energiatehokkuustoimia
Perusura sähkötön	LVM:n perusennuste	Sähkö muutettu polttoaineiksi	Polttoainetarve ilman sähköä perusurassa	Laskettu niin, että sähkö korvaisi polttoaineita kertoimella 2,8 ja varmennettu ALIISA-mallilla
WAM sähkötön	Fossiilittoman tiekartan yhteydessä tehty ennuste	Sähkö muutettu polttoaineiksi	Polttoainetarve ilman sähköä WAM skenaariossa	Laskettu niin, että sähkö korvaisi polttoaineita kertoimella 2,8 ja varmennettu ALIISA-mallilla
Perusura sähkömax	LVM:n perusennuste	Maksimimäärä sähköautoja	Maksimimäärä sähköautoja perusurassa	ALIISA-mallilla arvoitu mitä sähköistys enimmillään voisi olla huomioiden kaluston uusiutumisenopeus
WAM sähkömax	Fossiilittoman tiekartan yhteydessä tehty ennuste	Maksimimäärä sähköautoja	WAM skenario maksimimäärällä sähköautoa	ALIISA-mallilla arvoitu mitä sähköistys enimmillään voisi olla huomioiden kaluston uusiutumisenopeus

Tämänhetkinen perusura ("baseline") on laadittu ALIISA mallilla huhtikuussa 2020 Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n toimesta. Perusura ennusteessa

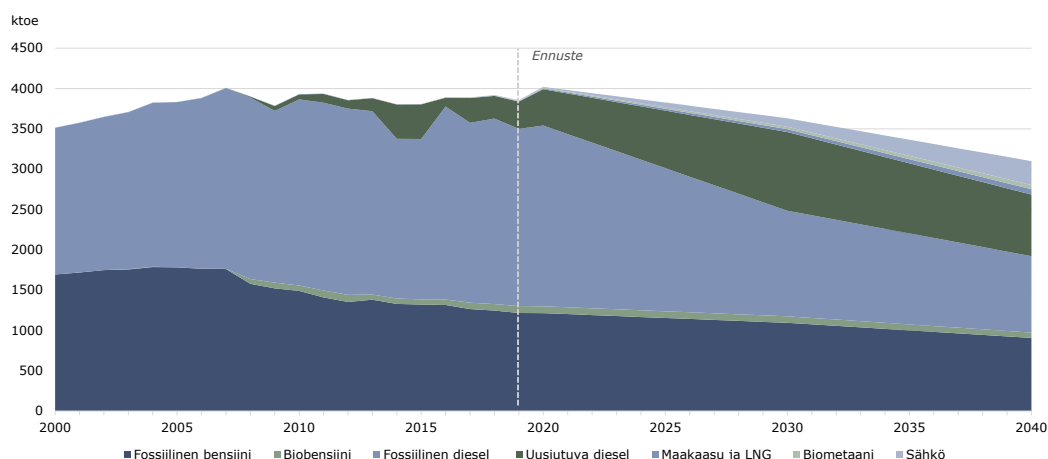
on mukana jo olemassa olevat päätökset kuten nestemäisten biopolttoaineiden 30 %:n jakeluväite vuodelle 2029 ja EU:n ajoneuvomääräysten (CO₂) heijastumat ajoneuvokantaan. Perusura johtaa 37 % päästövähennykseen vuonna 2030 referenssivuoteen 2005 verrattuna päästövähennystavoitteen ollessa -50 %. Kuvassa 24 on esitetty arvio tieliikenteen päästöjen kehittymisestä perusura -skenaariossa. Kuvasta 24 nähdään, että sähköautojen lukumäärä vaikuttaa loppujen lopuksi varsin vähän vuoden 2030 CO₂-päästöihin, koska joka tapauksessa sähköautojen määrä suhteessa koko henkilöautokantaan on vielä pieni. Perusuran oletusarvo vuoden 2030 sähköautomäärästä on 350 000.



Kuva 24 Tieliikenteen päästöjen kehittymien perusurassa (EV - electrified vehicle)

Kuvassa 25 on kuvattu tieliikenteen energiankulutuksen kehitys LVM:n perusura -skenaariossa. Tieliikenteen kokonaisenergiankulutuksen oletetaan laskevan jopa 25 % vuoteen 2040 samalla kun biopolttoaineiden ja sähkön kulutus kasvaa. Kuvasta 25 nähdään, että fossiilisen polttoaineiden käyttö laskee merkittävästi vuoden 2020 jälkeen. Vuonna 2040 fossiilisen bensiinin ja dieselin yhteenlaskettu kulutus on laskenut peräti 1 600 ktoe vuodesta 2020 eli lähes 46 prosenttia. Myös biobensiinin energiankulutus laskee hieman vuodesta 2020. Muiden tieliikenteen energialähteiden kulutus kasvaa verrattuna vuoteen 2020. Uusiutuvan dieselin energiankulutus kasvaa 70 prosenttia seuraavien kahdenkymmenen vuoden aikana ja myös sähkön määrän odotetaan kasvavan merkittävästi. Vuonna 2020 sähkön kulutus on 10 ktoe ja vuonna 2040 peräti 295 ktoe. Kaasun käyttö tieliikenteessä kasvaa maltillisesti vuoteen 2040, jolloin maakaasun määrä on 67 ktoe/a ja biometaanin 53 ktoe/a, nykytasojen ollessa 10 ja 9 ktoe/a. Kuvaajasta huomataan, että pääasiassa sähkö

ja uusiutuva diesel tulevat korvaamaan fossiilisen bensiinin ja dieselin. Huomattavaa on kuitenkin se, että perusuran tuloksien perusteella uusiutuva diesel tulee saavuttamaan maksiminsa tieliikenteen energiakulutuksessa vuonna 2030, jolloin kulutus on ennustettu olevan 976 ktoe, kun taas vuonna 2040 kulutus on vain 763 ktoe. Sähkön määrän oletetaan taas kasvavan vuosittain 18 prosenttia.

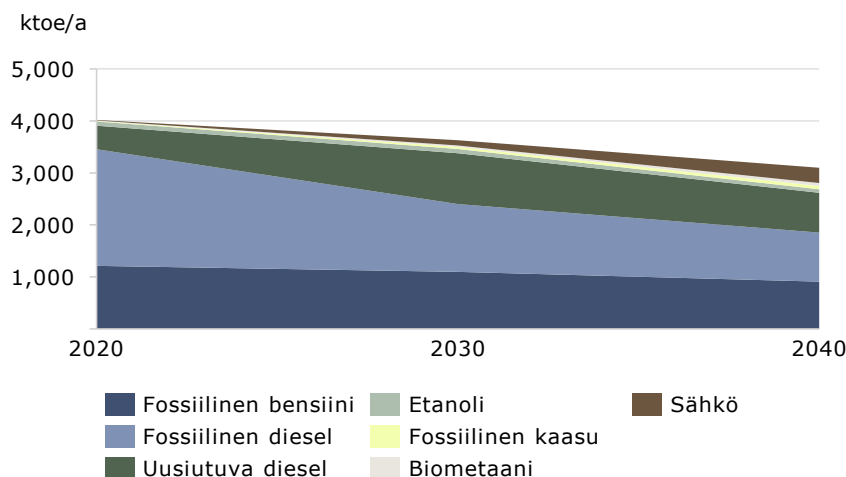


Kuva 25 Tieliikenteen energiakulutuksen kehitys LVM perusurassa

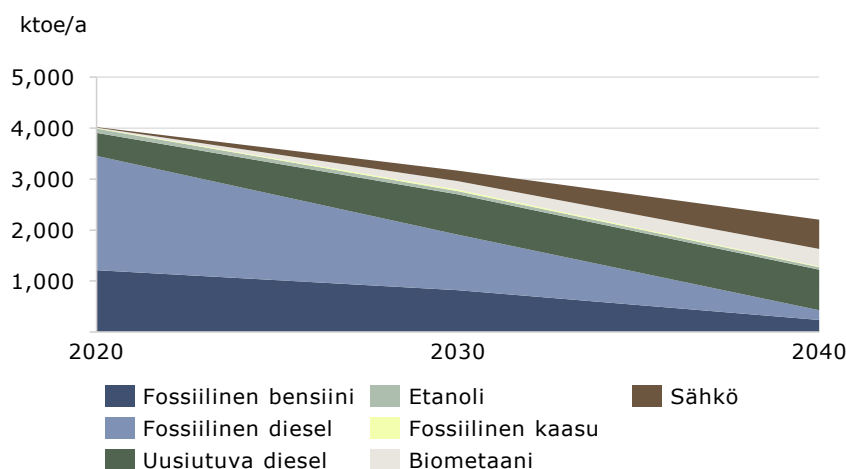
Tieliikenteen polttoaineiden kokonaismäärässä on merkittävä ero LVM:n perusuran ja WAM skenaarion välillä (kuvat 26 ja 27). Ero selittyy ensisijaisesti sähköautojen lukumäärillä (WAM:issa huomattavasti enemmän sähköä) ja vähemmässä määrin energiatehokkuustoimenpiteillä. Vuonna 2040 tieliikenteen polttoaineen kokonaismäärä on noin 2 800 ktoe/a LVM:n perusurassa, kun taas WAM-skenaariossa vastaava luku on 1 600 ktoe/a eli noin 1 200 ktoe/a alhaisempi kuin perusurassa. Vastaavasti WAM-skenaariossa fossiilisen bensiinin ja dieselin energiankäyttö laskee vuoden 2020 tasosta vuoteen 2040 mennessä noin 3 000 ktoe/a. Vuonna 2040 fossiilista bensiiniä ja dieseliä käytettäisiin enää noin 425 ktoe/a, uusiutuvaa dieseliä 795 ktoe/a, etanolia 55 ktoe/a, fossiilista kaasua 15 ktoe/a ja biometaania 340 ktoe/a.

Perusura ja WAM-skenario eroavat toisistaan niin sähkön kuin kaasun energiankäytön osalta. Perusurassa sähkönkäyttö tieliikenteessä on 10 ktoe/a vuonna 2020 ja 295 ktoe vuonna 2040, kun taas WAM-skenaariossa sähkön käyttö on 577 ktoe/a vuonna 2040. Biometaanin energiankäytössä on myös merkittävä ero. Perusurassa biometaanin energiankäyttö liikennekäytössä on 55 ktoe/a, kun taas WAM skenaariossa 284 ktoe/a korkeampi eli 340 ktoe/a. Kuvissa 26 ja 27 huomataan, että tieliikenteen energian kokonaismäärän lasku

on LVM perusurassa loivempi, kun taas WAM skenaariossa tieliikenteen energiakäyttö laskee jyrkemmissä kulmassa lisääntyneen sähköistymisen ja energiatehokkuustoimien ansiosta.



Kuva 26 Tieliikenteen energia, LVM perusura (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020)



Kuva 27 Tieliikenteen energia, WAM skenaario (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)

Taulukkoihin 3 ja 4 on koottu tieliikenteen energia- ja polttoainemäärät sekä kaasun- ja sähköajoneuvojen lukumäärät LVM:n perusurassa ja WAM-skenaariossa. Kuvassa 28 on vielä erikseen havainnollistettu sähköajoneuvojen kokonaismäärät näissä kahdessa skenaariossa. Liitteessä 4 taulukon 4 kaikki ajoneuvojen määrät ja suhteelliset osuudet sekä niiden kehittyminen on havainnollistettu kuvaajilla.

Taulukko 3 Tieliikenteen energia- ja polttoainemäärät LVM:n perusurassa ja WAM-skenaariossa

ktoe/a	2020	Perusura		WAM	
		2030	2040	2030	2040
Energia yhteensä	4 020	3 631	3 098	3 164	2 204
Fossiilinen bensiini	1 214	1 094	907	819	238
Fossiilinen diesel	2 241	1 309	948	1 089	188
Uusiutuva diesel	451	976	763	793	794
Etanoli	85	81	66	61	53
Bio-osuus nesteissä	13 %	31 %	31 %	31 %	67 %
Fossiilinen kaasu	10	36	67	32	14
Biometaani	9	29	53	168	341
Bio-osuus kaasussa	48 %	45 %	44 %	84 %	96 %
Polttoaineet yhteensä	4 010	3 526	2 803	2 962	1 628
Sähkö	10	105	295	202	577
Sähkö korvaa polttoaineita	27	293	826	567	1615

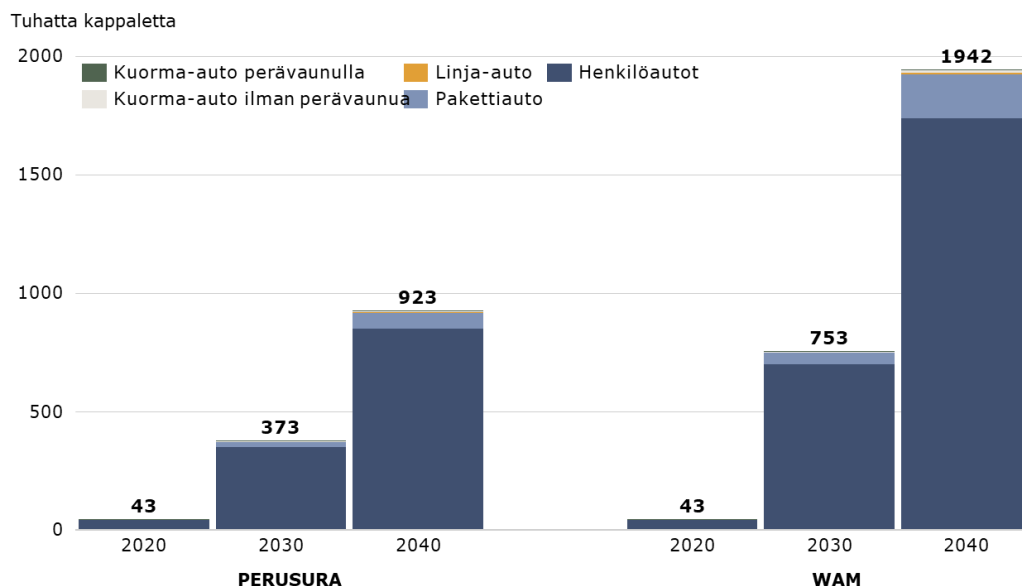
 Taulukko 4 Kaasu- ja sähköajoneuvojen määrät LVM:n perusurassa ja WAM-skenaariossa
 (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020)

Ajoneuvomäärä, kpl	2020	Perusura		WAM	
		2030	2040	2030	2040
Henkilöautot					
Kaasu	13 529	24 790	10 744	130 000	233 634
PHEV	33 037	173 036	162 657	308 160	260 604
Sähkö	7 876	176 305	688 043	391 840	1 477 365
Pakettiautot					
Kaasu	320	250	94	1 007	532
PHEV	412	7 802	25 044	9 354	22 462
Sähkö	1 268	13 059	40 379	37 514	162 490
Linja-autot					
Kaasu	40	188	359	402	1 204
Sähkö	83	821	2 046	1 602	4 716
Perävaunuttomat kuorma-autot					
Kaasu	123	1 065	2 803	5 893	16 232
PHEV	32	538	1 314	1 494	2 413
Sähkö	13	527	1 757	2 947	10 886
Perävaunulliset kuorma-autot					
Kaasu	20	634	2 555	800	3 793
PHEV	39	411	917	21	15
Sähkö	23	358	1 160	80	1 084

LVM:n perusurassa sähköhenkilöautojen määrä on noin 350 000 kappaletta vuonna 2030 ja noin 850 000 kappaletta vuonna 2040. Sähköhenkilöautojen määrä käsittää ladattavat hybridit ja täyssähköautot yhteensä. WAM skenaariossa sähköhenkilöautojen määrä on noin 700 000 kappaletta vuonna 2030 ja noin 1 700 000 kappaletta vuonna 2040. WAM skenaariossa on myös laskettu, että pakettiautot ja perävaunuttomat kuorma-autot sähköistyvät. Skenaariossa on arvioitu sähköistettyjä perävaunullisia kuorma-autoja olevan 1 100 kappaletta vuonna 2040.

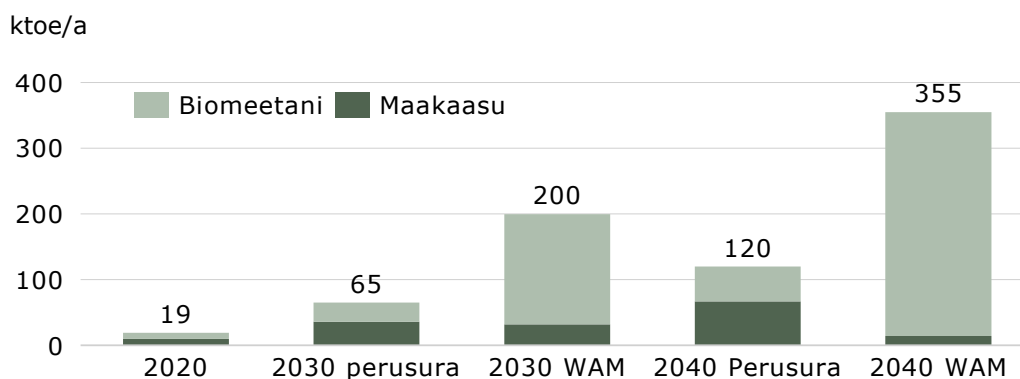
Perusurassa kaasuhenkilöautoja on määrällisesti eniten vuonna 2030, noin 25 000 kappaletta. WAM skenaariossa kaasuhenkilöautojen määrä sen sijaan

kasvaa noin 130 000 kappaleeseen vuonna 2030. Kaasuautojen tarjonta on vähentynyt markkinoilla, joten WAM skenaarion toteutumista voidaan pitää epätodennäköisenä. Perusura ennustaa kaasu-kuorma-autojen määrän olevan noin 5 500 vuonna 2040, kun taas WAM skenaariossa se on taas 19 000 vuonna 2040 eli huomattavasti suurempi.



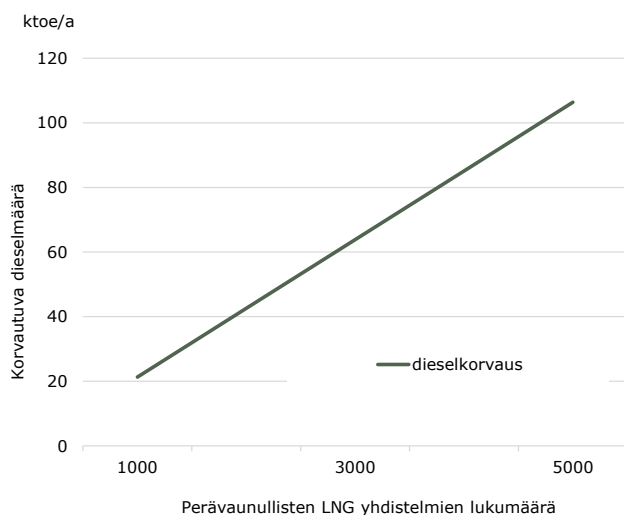
Kuva 28 Sähköajoneuvojen kokonaismäärät perusurassa ja WAM-skenaariossa

Kuvassa 29 on esitetty metaanin kulutusmäärän kehitys eri skenaarioissa vuosille 2020, 2030 ja 2040. Biometaanin määrä on merkittävästi suurempi WAM skenaarioissa kuin perusuralla, kun taas maakaasun määrä on suurempi perusuralla kuin WAM skenaarioissa. WAM skenaariossa biometaanilla on suuri rooli. WAM-skenaariossa biometaanin määrä kasvaa vuoden 2020 9 ktoe:sta 341 ktoe:en vuonna 2040, kun taas perusskenaariossa biometaanin määrä vuonna 2040 on 53 ktoe. Vastaavasti maakaasunmäärä perusurassa on 36 ktoe vuonna 2040, kun taas vastaavana vuonna WAM-skenaariossa maakaasun osuus on vain 14 ktoe.



Kuva 29 Metaanin määrä eri skenaarioissa

Kuvassa 30 on esitetty, miten nesteytetyn metaanin (LNG tai LBG) käyttö perävaunullisissa yhdistelmissä voisi korvata dieselpolttoainetta. Perävaunullisen dieselkuorma-auton vuosikulutus on laskettu ALIISA mallin perusteella (25 toe/a) (VTT, 2021b). LNG korvaa dieseliä 90 %:sesti. Tässä laskelmassa on huomioitu pilot-polttoaineen (diesel) osuudeksi noin 10 %. LVM:n skenaarioissa perävaunullisia kaasukuorma-autoja on vuodesta (2030, 2040) ja skenaariosta riippuen 600–3800 kappaletta.

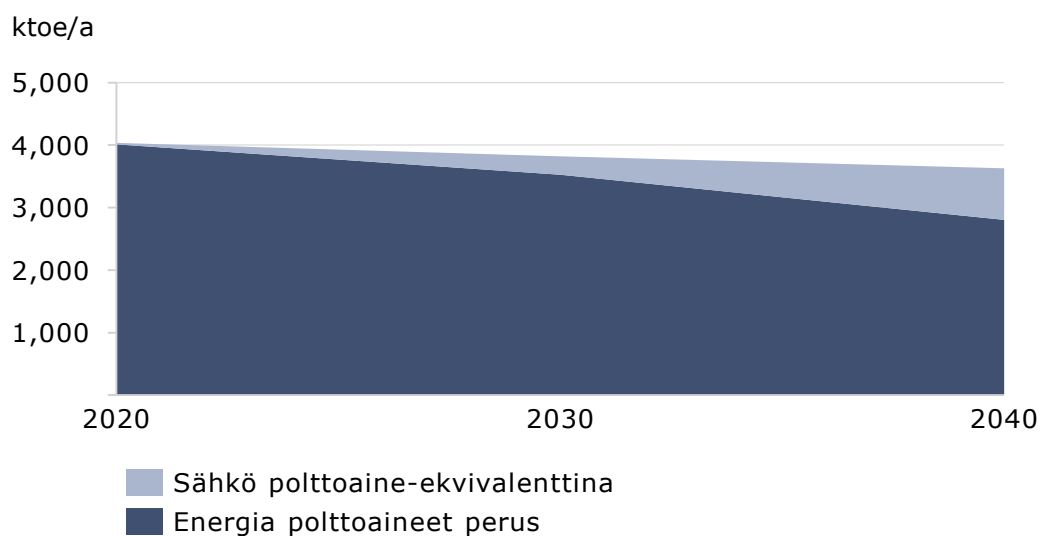


Kuva 30 Dieselpolttoaineen korvaus perävaunullisilla HPDI dual-fuel kaasukuorma-autoilla (LNG tai LBG) (VTT, 2021b)

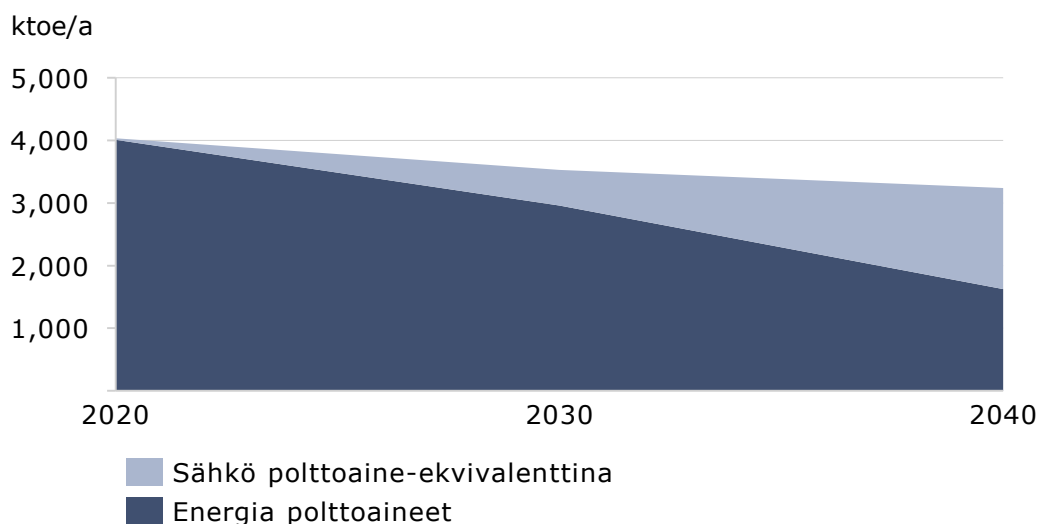
Perusura sähkötön ja WAM sähkötön -skenaarioiden avulla voidaan arvioida polttoaineen tarve liikenteessä, jossa sähköä ei käytettäisi tieliikenteen energiana. Sähköttömät skenaarioiden polttoainemäärät on laskettu muuttamalla

sähkö polttoaineiksi kertoimella 2,8 (yksi energiayksikkö sähköä korvaa 2,8 energiayksikköä polttoaineella). Kuvat 31 ja 32 näyttävät polttoaineen kokonaismäärän sähkötön perusura ja WAM sähkötön -skenaariossa. Kuvissa on eroteltu varsinaisen polttoaineen määrä ja polttoaineen määrä, joka tarvittaisiin sähkön korvaamiseen.

Tarkastelemalla sähköttömiä skenaarioita voidaan tehdä johtopäätöksiä energiatehokkuustoimista (siis muista kuin sähköistyksestä) ja niiden vaikutuksesta energian kulutuksen kokonaismääriin. Jos tieliikenteessä ei käytettäisi laisinkaan sähköä, tieliikenteen energian kokonaiskulutus laskisi perusurassa vuodesta 2020 vuoteen 2040 vain noin 10 % eli noin 4 000 ktoe:sta noin 3 600 ktoe:en (kuva 31). WAM sähkötön skenaariossa tieliikenteen polttoaineen kokonaismäärän lasku vastaavasti olisi 20 % eli noin 4 000 ktoe:sta noin 3 200 ktoe:en (kuva 32). Tieliikenteen energian kokonaismäärä ilman sähköä on perusurassa noin 3 820 ktoe vuonna 2030, kun taas WAM skenaariossa vastaava luku on noin 3 530 ktoe. Vuonna 2030 perusuran ja WAM skenaarion tieliikenteen energian kokonaismäärässä on siis noin 290 ktoe eroavaisuus, joka tarkoittaa muita toimia kuin sähköistystä. Vastaavasti vuonna 2040 perusurassa tieliikenteen energian kokonaismäärä ilman sähköä on 3 630 ktoe ja WAM skenaariossa 3 240 ktoe. Perusura sähkötön ja WAM sähkötön skenaarioiden välinen ero on näin ollen 390 ktoe vuonna 2040. WAM skenaarioissa muut toimet kuin sähköistys vähentävät siis energian kulutusta noin 300-400 ktoe/a. Tieliikenteen energiankulutuksen oletetaan laskevan vuodesta 2030 vuoteen 2040 noin 200 ktoe/a perusuralla ja noin 300 ktoe/a WAM skenaariossa ilman sähköä.



Kuva 31 Polttoaineiden kokonaismäärä (perusura sähkötön) (VTT, 2021b)

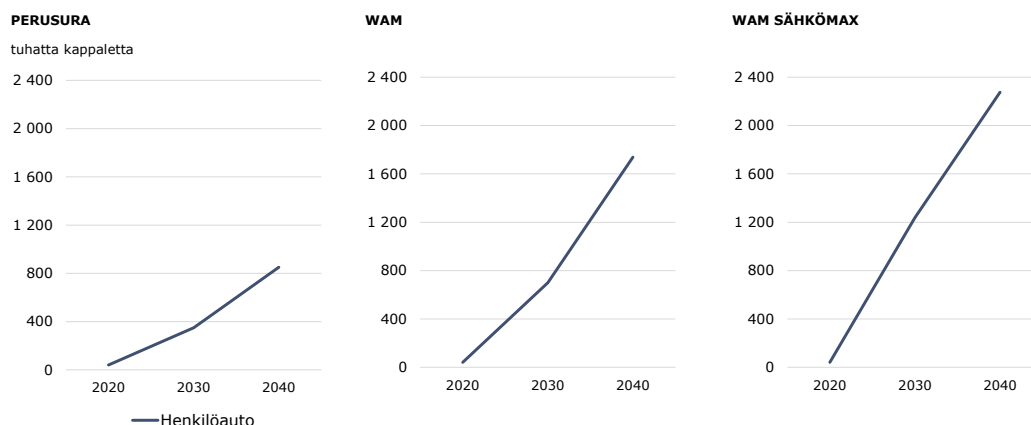


Kuva 32 Polttoaineiden kokonaismäärä (WAM sähkötön) (VTT, 2021b)

Sähkötömmien skenaarioiden ohella tässä työssä tarkasteltiin myös perusuran ja WAM-skenaarioiden pohjalta sähkömax skenaarioita. Sähkömax skenaarioissa maksimoitiin sähköautojen määrää. Sähkömax skenaarioiden avulla voidaan verrata kaluston maksimaalisia sähköautomääriä ja WAM skenaarioiden sähköautomääriä. Samalla tarkastelusta saadaan tuloksena tieliikenteen polttoaineiden tarve alhaisimmillaan.

Sähkömax skenaario pohjautuu kaluston ensirekisteröinnissä henkilöautojen osalta oletuksiin, että 2025 alkaen 50 % lataushybridejä (PHEV), vuonna 2030 50 % täyssähköautoja (BEV), josta eteenpäin vain täyssähköautoja (BEV). Kuorma-autojen osalta on oletettu, että vuosien 2025 (-15 %), 2030 (-30 %) ja 2040 (-60 %) CO₂ päästövähennykset toteutetaan pelkästään sähköautojen avulla. Perävaunullisten kuorma-autojen osalta on oletettu, että vuodesta 2025 alkaen 5 % sähköistettyjä, vuonna 2030 10% sähköistettyjä ja vuonna 2040 30 % sähköistettyjä. Laskennassa on käytetty 72 % perävaunuttomia ja 28 % perävaunullisia jakaumaa, jotta saavutettiin kuorma-autojen CO₂ päästötavoitteet (esim. 2025 -15%). Pakettiautot on taas laskettu olettamalla ne henkilöautojen ja kuorma-autojen välimaastoon. Linja-autot on huomioitu laskemalla kuten perävaunuttomat kuorma-autot paitsi kaupunkilinja-autot, jotka on laskettu vuodesta 2025 alkaen 100 % sähköistetyiksi (BEV). Oletuksissa ja laskelmissa ei ole otettu huomioon kannustimia, vaan laskelmat on laskettu kaluston uusiutumisenopeuden kannalta.

Kuvassa 33 on esitetty LVM:n perusuran, WAM ja WAM sähkömax skenaarioiden sähköhenkilöautojen kokonaismäärät. Kuvasta erottuu selkeästi sähköhenkilöautojen määrän kasvu WAM skenaariossa. Sähkömax skenaariossa sähköhenkilöautojen määrä on kuitenkin WAM skenaariotakin suurempi. LVM:n perusurassa sähköhenkilöautojen määrän on ennustettu nousevan lähes 810 000 sähköhenkilöauton verran seuraavan kahdenkymmenen vuoden aikana. Perusurassa sähköhenkilöautojen määrä on vuonna 2020 lähes 41 000 ja vuonna 2040 850 000. WAM skenaarioissa sähköhenkilöautojen määrän kasvu samana ajanjaksona on lähes 1,7 miljoonaa. Vuonna 2030 on ennustettu 700 000 sähköhenkilöautoa ja vuonna 2040 lähes 1 740 000 sähköhenkilöautoa. Sähkömax skenaariossa sähkö henkilöautojen määrä on 540 000 suurempi kuin WAM skenaariossa ja 1,4 miljoonaa suurempi kuin perusurassa. Sähkömax skenaariossa sähkö henkilöautojen määrä on lähes 2,3 miljoonaa.

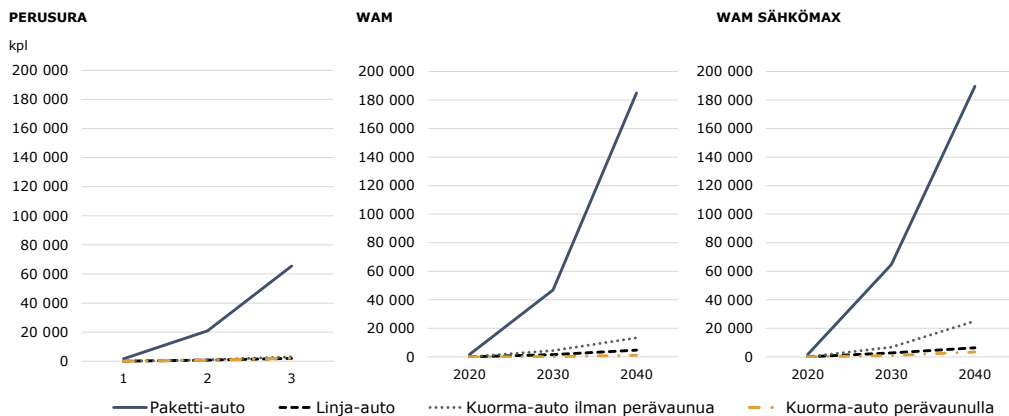


Kuva 33 Sähköhenkilöautojen (ladattavat hybridit ja täyssähköautot) kokonaismäärät LVM:n perusurassa, WAM skenaarioissa ja WAM sähkömax skenaariossa (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)

Kuvassa 34 on vastaavasti esitetty sähkökäyttöisten pakettiautojen, linja-autojen sekä kuorma-autojen (ilman perävaunua ja perävaunulla) kokonaismäärät LVM:n perusurassa, WAM skenaariossa ja WAM sähkömax skenaariossa. LVM:n perusurassa sähköpakettiautojen määrä on vuonna 2040 noin 65 000, kun WAM skenaariossa sähköpakettiautojen määrä on 185 000 ja sähkömax skenaariossa 190 000. Huomattavaa on se, että WAM ja sähkömax skenaarioiden ero sähköpakettiautojen osalta vuonna 2040 on pieni. Sähkölinja-autojen määrä on perusennusteessa noin 2 000 vuonna 2040, WAM skenaariossa lähes 5 000 ja sähkömaxissa 6 000 vuonna 2040.

Perusurassa sähkökuorma-autojen (ilman perävaunua) määrä on 3 000, WAM skenaariossa 13 000 ja sähkömaxissa 25 000. Perusurassa sähkökuorma-autojen (perävaunun kanssa) määrä on 2 000, kun taas WAM skenaariossa määrä on 1 000 ja sähkömaxissa määrä on taas yli 3 000.

Perusuran, WAM ja sähkömax skenaarioiden vertailuissa voidaan huomata, että WAM skenaarion sähköajoneuvojen määrät ovat pakettiautojen osalta lähes samat kuin sähkömax skenaariossa eli WAM skenaariossa pakettiautojen määrä on lähes maksimissaan ensirekisteröinnin osalta. WAM skenaariossa on siis oletettu, että pakettiautojen sähköistytminen on todella nopeaa, mutta myös sähköhenkilöautojen määrän ennuste on vuonna 2030 kaksinkertainen verrattuna perusuraan ja vuonna 2040 yli kaksinkertainen verrattuna perusuraan.



Kuva 34 Sähkökäyttöisen (ladattavat hybridit ja täyssähköautot) pakettiauton, linja-auton, kuorma-auton ilman perävaunua ja kuorma-auto perävaunulla kokonaismäärät LVM:n perusurassa, WAM skenaariossa ja WAM sähkömax skenaariossa (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)

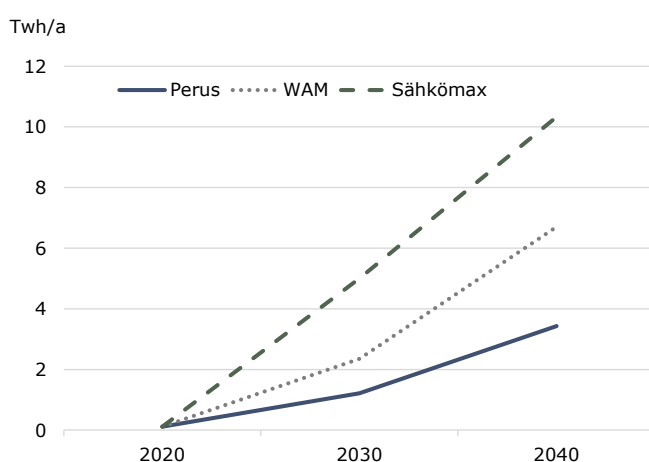
Perusuran, WAM ja sähkömax skenaarioiden liikennesähkön määrissä on selkeitä eroja. Perusurassa liikennesähkön määrän ennustetaan kasvavan noin 19 % vuosikasvua, WAM skenaariossa noin 23 % vuosikasvua ja sähkömaxissa noin 25 % vuosikasvua. Suurin ero on perusuran ja WAM sekä sähkömax skenaarioiden välillä. Perusurassa liikenteensähkön määrä on vuonna 2040 3,4 TWh/a tai 295 ktoe/a, WAM skenaariossa 6,7 TWh/a tai 580 ktoe/a ja sähkömaxissa 10,3 TWh/a tai 890 ktoe/a (Kuvat 35 ja 36). Sähkömax skenaariossa vuosittainen kasvu on vain 7,5 % vuoden 2030 jälkeen ja sähkön määrä kaksinkertaistuu 5,0 TWh:sta noin 10,3 TWh:iin vuoteen 2040. Vuosittainen kasvu vuodesta 2030 vuoteen 2040 on perusurassa noin 11 % ja WAM skenaariossa

11 %, joten Perusurassa ja WAM skenaario eroavat pääosin 2020-2030 liikennesähkön määrän vuosikasvussa, jossa kasvu on voimakkaampaa WAM skenaariossa. Liikenteen sähkönkulutus on silti melko pientä verrattuna sähkön kokonaiskulutukseen Suomessa, joka oli 81 TWh vuonna 2020 (Tilastokeskus, 2021).

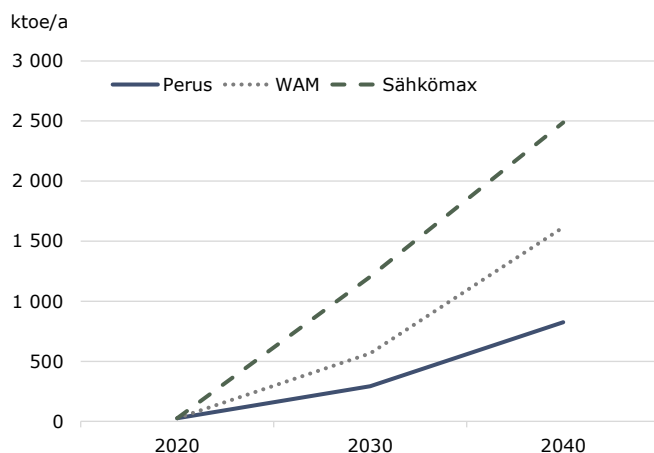
Sähköautojen latausta ei pidä tarkastella pelkästään sähkömäärän perusteella, vaan latauksessa on myös huomioitava tehon tarve. Edellä mainitut sähkömäärät, WAM:in 6,7 TWh ja sähkömaxin 10,3 TWh, vastaisivat keskimääräisenä tehona noin 0,6 GW ja 1,2 GW. Sähköautojen latauksen täydellinen tasapainottaminen tuskin onnistuu, joten tehontarve on todellisuudessa suurempi.

Tehokkaimmat sähköhenkilöautojen kotilatauslaitteet mahdollistavat lataamisen 7–11 kW:n teholla. WAM olettaa sähköhenkilöautojen lukumääräksi noin 1,7 miljoonaa yksikköä vuonna 2040. Jos kaikkia näitä autoja ladattaisiin samanaikaisesti 7 kW:n teholla, tehon tarve olisi peräti 12 GW. Näin ollen sähköautojen määrän lisääntyessä on myös panostettava älykkäisiin latausjärjestelmiin, latauksen porrastukseen ja sähköverkkojen vahvistamiseen.

Kaikissa skenaarioissa perusurassa, WAM:issa ja sähkömaxissa liikenteen sähkön kulutus kasvaa eli polttoaineiden määrä laskee. Sähkömaxissa polttoaineita korvataan sähköllä eniten eli lähes 2 500 ktoe/a, WAM skenaariossa 1 600 ktoe/a ja perusurassa 800 ktoe/a (kuva 36). WAM skenaariossa sähköllä korvataan lähes kaksi kertaa enemmän polttoainetta kuin perusurassa.



Kuva 35 Liikennesähkön määrä eri skenaarioissa



Kuva 36 Sähköllä korvautuvat polttoainemäärät eri skenaarioissa

Vuonna 2020 Euroopan komission alaisen Joint Research Centerin (JRC) johdolla julkaistiin tutkimus Euroopan unionin maantieliikenteen energian kulu-
 tuksesta ja CO₂-päästöistä vuoteen 2050 asti. Tutkimuksessa on esitetty en-
 nusteita ajoneuvokaluston kehittymisestä Euroopan unionin tasolla. Tutkimuk-
 sessa täyssähköautojen (BEV) lukumäärä vastaa lähes LVM:n perusennusteen
 lukuja vuosille 2030 ja 2040. Ladattavien hybridien (PHEV) osalta tutkimuksen
 luvut ovat selkeästi korkeammat verrattuna LVM perustapaukseen. (Krause,
 ym., 2020) (Taulukko 5)

Täyssähköautojen (BEV) osalta luvut vastaavat suhteellisen hyvin LVM:n pe-
 rustapauksen lukuja vuosille 2030 ja 2040. Ladattavien hybridien (PHEV)
 osalta EU:n luvut ovat selvästi korkeammat LVM:n perustapaukseen nähden,
 2–3 kertaiset kevyt autojen osalta ja jopa kymmenkertaiset raskaiden autojen
 osalta sekä myös WAM:iin verrattuna selvästi korkeammat.

 Taulukko 5: Vertailu EU kalustovertailu ennusteiden, LVM perusuran ja WAM skenaarion välillä
 (Krause, ym., 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020; Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a)

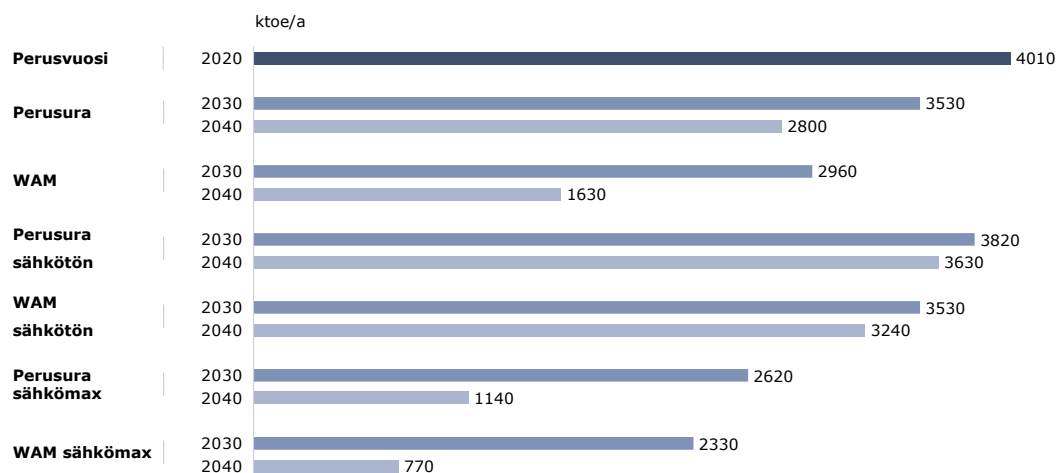
EU kalustovertailu									
Henkilö- ja pakettiauto	2030 myynti	2030 kanta	2040 myynti	2040 kanta	Raskas-ajoneuvo	2030 myynti	2030 kanta	2040 myynti	2040 kanta
Perinteinen	53 %	76 %	22 %	58 %	Perinteinen	89 %	90 %	79 %	75 %
PHEV	28 %	18 %	34 %	18 %	PHEV	9 %	10 %	13 %	22 %
BEV	18 %	6 %	44 %	24 %	BEV	1 %	0 %	8 %	4 %
LVM perusura									
Henkilöauto PHEV		6 %		10 %	Kuorma-auto PHEV		1 %		2 %
Henkilöauto BEV		6 %		23 %	Kuorma-auto BEV		1 %		3 %
WAM skenaario									
Henkilöauto PHEV		11 %		10 %	Kuorma-auto PHEV		1 %		2 %
Henkilöauto BEV		15 %		56 %	Kuorma-auto BEV		3 %		11 %

WAM-skenaariossakaan ei ole näytetty vetyä tieliikennepolttoaineena. Vety on kuitenkin melkoisen mielenkiinnon kohteena tällä hetkellä. Vedyn varastointi on helpompaa sähköön verrattuna, ja vety voisi tulla käyttöön myös kuorma-autokalustossa. Voimalaite voisi polttokennon lisäksi olla myös vedyllä toimiva polttomoottori. Molemmat lasketaan nykysäännöillä nollapäästöisiksi CO₂:n osalta.

Vedyn käyttöön liikenteessä liittyy kuitenkin haasteita. Vety vaatisi täysin uuden ajoneuvokaluston ja jakelujärjestelmän. Lisäksi vihreän vedyn (uusiutuvan sähkön elektrolyysiin perustuvan) tuotanto on toistaiseksi hyvin vähäistä.

Skenaariotarkasteluissa vetykäyttöiset autot voisivat osittain korvata sähköautoja, muttei niin, että esimerkiksi WAM skenaarioissa esitettyjen sähköautokujien lisäksi tulisi merkittäviä määriä vetykäyttöisiä autoja. Kaluston uusiutumisenopeus ei mahdollista tätä.

Kuvassa 37 on vielä esitetty yhteenveto tieliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksen kehityksestä kaikissa kuudessa tarkastellussa skenaariossa. Tarkastelluissa skenaarioissa polttoainemäärät vaihtelevat 2 324 ja 3 800 ktoe välillä vuonna 2030 ja 755-3 600 ktoe välillä vuonna 2040. Luvussa 6 tullaan arvioimaan tarkemmin polttoaineiden kokonaismäärien kehitystä valtion varmuusvarastoissa kuvassa 37 esitettyjen vuositasen kulutusmäärien pohjalta.

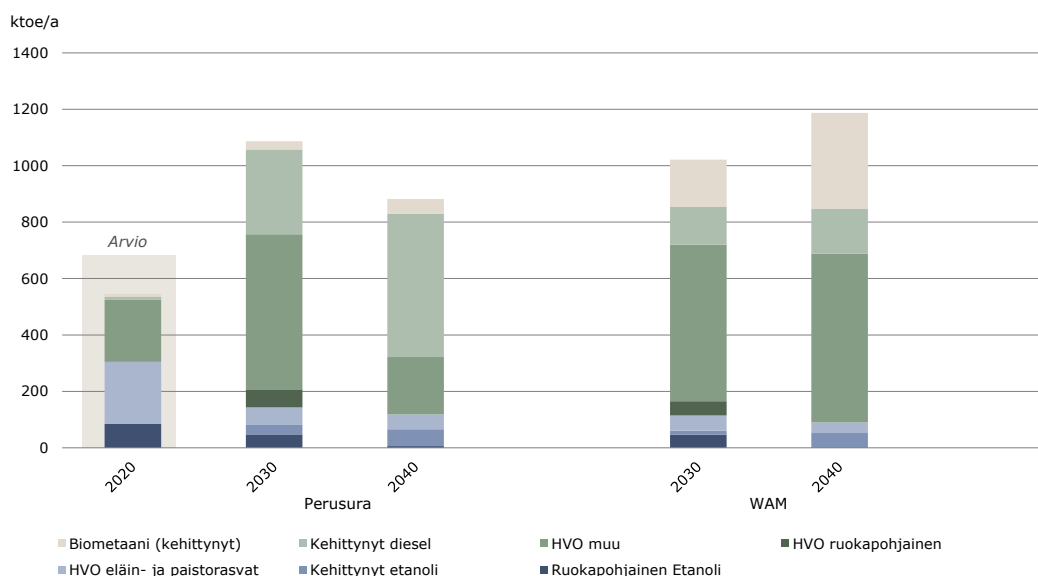


Kuva 37 Tieliikenteen polttoaineiden kulutusmäärät (fossiilinen bensiini, fossiilinen diesel, uusiutuva diesel, etanoli, fossiilinen kaasu, biometaan) eri skenaarioissa

Nykyisen ja tulevaisuuden lainsäädännön kautta voidaan arvioida, miten 30 % uusiutuvien polttoaineiden jakeluvelvoite tulee vaikuttamaan uusiutuvien polttoaineiden määrään tulevaisuudessa. Kuvassa 38 on tehty oletuksia 2030 jälkeisestä politiikasta. Laskelmissa on oletettu, että ruokapohjaset polttoaineet eivät ole enää käytössä vuoden 2030 jälkeen. Lisäksi Suomen uusiutuvista polttoaineista suurin osa tulee olemaan muita hiilivetyjä eli drop-in polttoaineita, jotka perustuvat no-ILUC (indirect land use changes) ja low-ILUC raaka-aineisiin. Tulevaisuudessa tarvitaan eniten uusiutuvia polttoaineita, joita ei ole vielä määritelty. Etanolin rooli tulevaisuudessa jää vähäiseksi.

Ruokapohjaisen etanolin määrä laskee vuoteen 2040 mennessä lähelle nollaa niin perusurassa kuin WAM skenaarioissa. Kehittynyt etanolin määrä kasvaa perusurassa ja WAM skenaariossa. Perusurassa kehittyneen etanolin on ennustettu kasvavan vuodesta 2030 vuoteen 2040 35 ktoe/a 60 ktoe/a ja WAM skenaarioissa taas 15 ktoe/a 53 ktoe/a asti. HVO eläin- ja paistorasvapohjaiset uusiutuvat polttoaineet laskevat kaikissa skenaarioissa vuoden 2020 luvuista merkittävästi, myös HVO ruokapohjaisen uusiutuvan polttoaineen käytön ennustetaan loppuvan vuoteen 2040 mennessä. HVO:n muun osuus kasvaa vuoteen 2030 kaikissa skenaarioissa, mutta laskee vuoden 2030 luvuista vuoteen 2040 perusurassa ja sähkömaxissa. WAM skenaariossa HVO muu määrä kasvaa vielä vuoden 2030 jälkeen. Skenaarioissa kehittyneen dieselin ennustetaan kasvavan merkittävästi vuoteen 2040 mennessä, mutta myös kehittyneen biometaanin merkitys kasvaa kaikissa skenaarioissa.

Uusiutuvien polttoaineiden kulutus kasvaa niin perusurassa, mutta WAM skenaarioissa uusiutuvien polttoaineiden käyttö kasvaa. Kehittyneen biometaanin rooli WAM skenaarioissa on merkittävä. Uusiutuvien polttoaineiden kulutuksen lasku, johtuu liikenteen sähköistymisen lisääntymisestä vuoden 2030 jälkeen. Sähköajoneuvojen kehittäminen ja käyttönopeus määrittävät myös uusiutuvien polttoaineiden tarvetta.



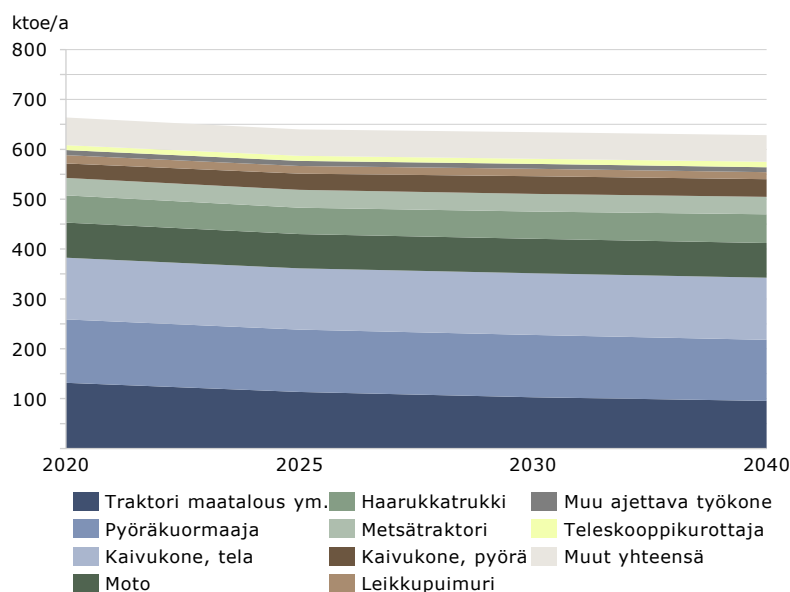
Kuva 38 Uusiutuvien polttoaineiden kysyntä eri skenaarioissa

5.3 Työkoneet

Suomessa ei ole asetettu merkittäviä tavoitteita työkoneiden vaihtoehtoisille käyttövoimille. Fossiilittoman tieliikenteen tiekartassa sanotaan (Valtioneuvosto, 2021), että kaikkien uusien satamassa olevien työkoneiden pitäisi olla soveltuvia vaihtoehtoisille polttoaineille vuodesta 2030 eteenpäin. Tällä hetkellä uudet koneet soveltuvat 100 prosenttiselle uusiutuvalle dieselille, joten vaatimus saavutetaan automaattisesti.

Laki biopolttöllyn edistämisestä edellyttää, että polttöllyn bio-osuus on vähintään 10 % vuodesta 2028 alkaen. Tämä koskee myös työkoneissa käytettävää moottoripolttoöljyä. (Laki biopolttöllyn edistämisestä, 2019)

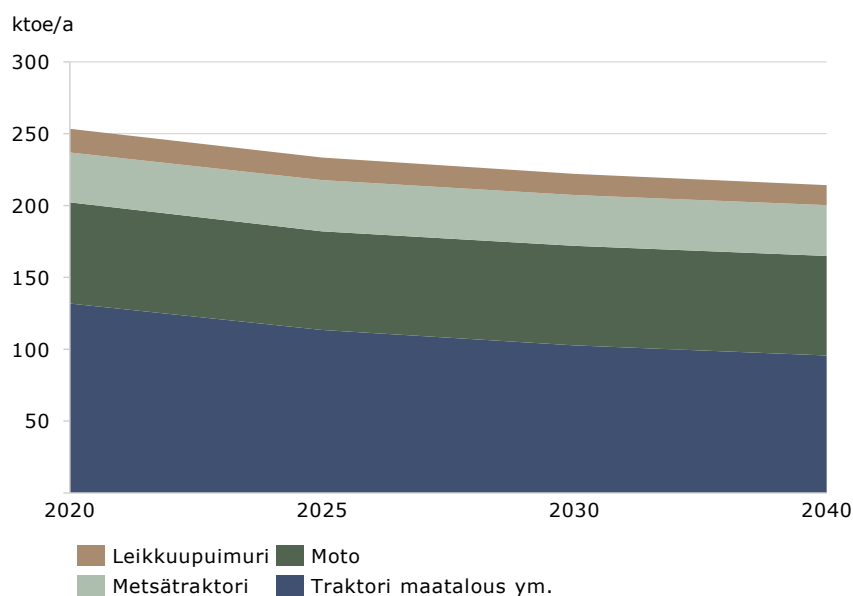
Koska Suomessa ei ole asetettu merkittäviä tavoitteita työkoneiden vaihtoehtoisille käyttövoimille, tässä työssä työkoneiden käyttövoimien kehitystä on arvioitu työkoneiden TYKO-laskentamallilla. Työkoneiden TYKO-laskentamalli ei varsinaisesti ota kantaa käyttövoimiin, vaan olettaa, että kaikissa ajettavissa dieseltyökoneissa käytetään moottoripolttoöljyä. Kuvassa 39 on esitetty ajettavien dieseltyökoneiden kulutus konetyypeittäin. Vuonna 2020 kokonaiskulutus oli 664 ktoe ja vuonna 2040 kokonaiskulutuksen ennustetaan laskevan 624 ktoe tasolle. Vuonna 2040 jakeluvaihtoehtojen mukainen biopolttöainemäärä olisi 65 ktoe/a.



Kuva 39 Ajettavien dieselyölkoneiden polttoaineen kulutusennuste

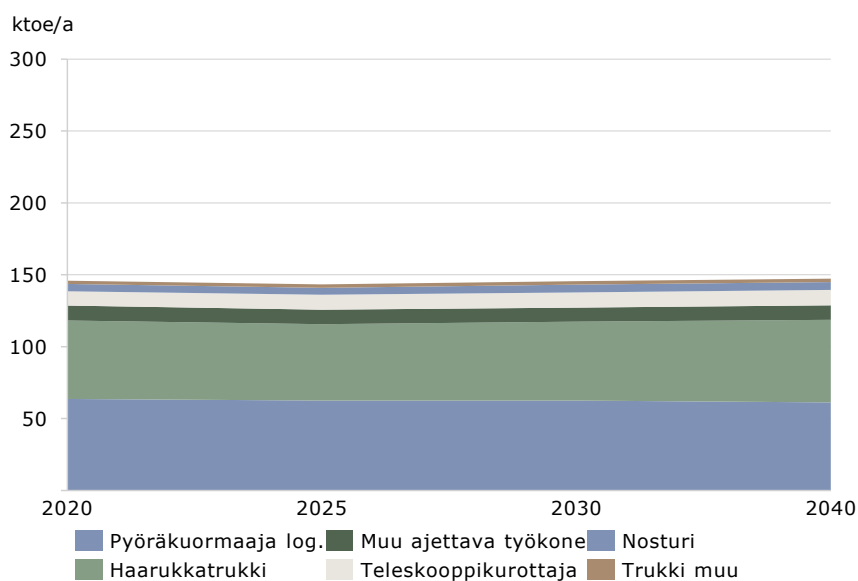
Maatalouteen ja logistiikkaan liittyvät työkalut ovat huoltovarmuuden kannalta tärkeässä asemassa. Työkalut on jaettu kolmeen pääluokkaan: maa- ja metsätalouden työkalut, logistiikan työkalut sekä rakennus- ja kaivos-toiminnan työkalut. Lisäksi kuvissa polttoaineen kulutus on jaettu pääluokit-tain. Kaikki traktorit on luokiteltu maa- ja metsätalouden työkaluiksi ja pyö-räkuormaajat on jaettu tasan logistiikan työkaluiden ja rakennus- ja kaivos-toiminnan työkaluluokkien kesken.

Suurin osa maa- ja metsätalouden työkaluiden polttoaineiden kulutuksesta ku-luu nyt ja tulevaisuudessa maatalouden traktoreissa (kuva 40). Maatalouden traktoreiden polttoaineen kulutuksen ennustetaan laskevan seuraavan kahden kymmenen vuoden aikana 132 ktoe:sta 96 ktoe:hen. Myös leikkupuimurin polttoaineen kulutuksen ennustetaan hieman laskevan noin 3 ktoe:ta seuraav-kahden kymmenen vuoden aikana. Metsätraktorien ja motojen kulutuksen uskotaan pysyvän lähes samana. Metsätraktorien kulutus oli vuonna 2020 35 ktoe:ta ja leikkupuimureiden 14 ktoe:ta.



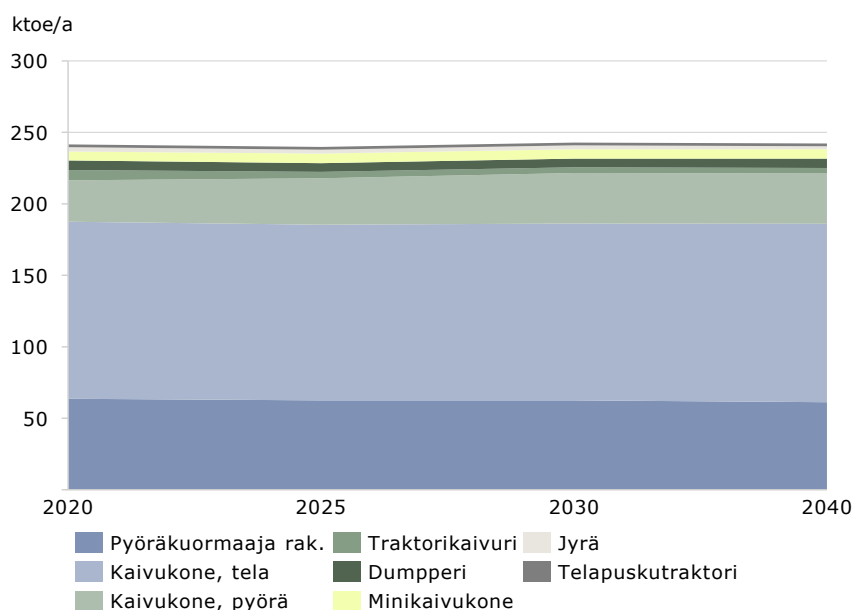
Kuva 40 Maa- ja metsätalouden työkalujen polttoaineen kulutusennuste

Logistiikan työkalujen polttoaineen kulutusennuste on esitetty kuvassa 41. Pyöräkuormaajat kuluttavat logistiikan työkalujen polttoaineista suurimman osan noin 64 ktoe:ta vuonna 2020 ja kulutuksen ennustetaan vain hieman (3 ktoe) laskevan vuoteen 2040 mennessä. Haarukkatrukit kuluttavat lähes saman verran kuin pyöräkuormaajat. Vuonna 2020 haarukkatrukit kuluttivat 55 ktoe:ta ja niiden kulutuksen ennustetaan nousevan vuoteen 2040 mennessä noin 3 ktoe:ta. Muiden ajettavien työkalujen, teleskooppikurottajien, nostureiden ja muiden trukkien kulutuksen oletetaan pysyvän lähes samana seuraavan kahden kymmenen vuoden aikana. Muut trukit kuluttivat 2 ktoe:ta, nosturit 5 ktoe:ta, teleskooppikurottajat 11 ktoe:ta ja muut ajettavat työkalut 10 ktoe:ta.



Kuva 41 Logistiikan työkonien polttoaineen kulutusennuste

Rakentamis- ja kaivostoiminnan työkonien polttoaineen kulutus on esitetty kuvassa 42. Suurin osa polttoaineen kulutuksesta menee tela kaivukoneisiin, joiden kulutuksen oletetaan pysyvän lähes samana seuraavan kahden kymmenen vuoden aikana, noin 125 ktoe:ta. Myös muiden rakentamis- ja kaivostoiminnan työkonien (mm. monitoimikone, tiehöylä), polttoaineen kulutus ennustetaan olevan lähes sama seuraavan kahdenkymmenen vuoden aikana. Vuonna 2020, rakennus pyöräkuormaaja kulutti 124 ktoe:ta, pyörä kaivukone 29 ktoe:ta, dumpperi ja traktorikaivuri 7 ktoe:ta, minikaivukone 6 ktoe:ta, jyrä 3 ktoe:ta, telapuskutraktori 2 ktoe:ta.



Kuva 42 Rakentamis- ja kaivostoiminnan työkonien polttoaineen kulutusennuste

Maa- ja metsätalouden työkonet ovat tärkeitä Suomen omavaraisuuden kannalta ja logistiikan työkonet nähdään edellytyksenä, että satamat ja logistiikkakeskukset voisivat toimia. Rakennus- ja kaivostoiminnan työkonet nähdään vähiten kriittisinä huoltovarmuuden kannalta, mutta esimerkiksi puolustusvoimat saattavat tarvita kriisissä rakennus- ja kaivostoiminnan työkonet. TYKO:n lukujen mukaan sekä maa- ja metsätalouden koneet ja rakennus- ja kaivostoiminnan koneet kuluttivat noin 250 ktoe polttoainetta vuonna 2020. Logistiikan työkonet kuluttivat noin 150 ktoe/a.

Sähköistytksen kannalta maa- ja metsätalouden koneet ovat vaikeasti sähköistettävissä, koska ne toimivat laajoilla alueilla ja latausmahdollisuuksien järjestäminen on hankalaa. Logistiikan työkonet operoivat rajatuilla alueilla esimerkiksi satamassa, joten sähköistäminen on helpompi toteuttaa, koska muun muassa latausinfrastruktuurien järjestäminen on helpompaa. Myös rakennus- ja kaivostoiminnan työkonet toimivat logistiikan työkonien tavoin rajatuilla alueilla. Sähkökoneiden käyttöä kaivostoiminnassa edesauttaa päästöttömyys sekä dieselkoneita matalampi lämpökuorma. Sähkökoneita käytetään jo tällä hetkellä kaivostoiminnassa.

On oletettavissa, että työkonissa sähköistys etenee tieliikennettä hitaammin. Regulaatiot vaikuttavat tieliikenteen nopeaan sähköistymiseen, kun taas työkonepuolella päästöjen sääntely puuttuu. Huomioitavaa on myös, että maa- ja metsätalouden koneiden sähköistämisessä on merkittäviä haasteita.

Dieselmoneiden lisäksi TYKO:ssa on neljä kategorialla siirrettäviä dieselkäyttöisiä työkoneita, joiden yhteenlaskettu kulutus on noin 50 ktoe vuodessa. Nämä kategoriat ovat dieselgeneraattorit (37 ktoe/a), kompressorit (10 ktoe/a), täryttimet (0,8 ktoe/a) ja muut siirrettävät dieseltyökoneet (2,5 ktoe). TYKO:ssa dieselgeneraattorien keskimääräiseksi nimellistehoksi on arvioitu 35 kW. Varavoiman tarve tulee lisääntymään, liikenteen ja muiden toimintojen sähköistymisessä yhteiskunnassa. Kiinteästi asennettuja varavoimakoneita, joita on muun muassa sairaaloissa, teollisuuslaitoksissa ja kauppakeskusten yhteydessä ei ole tilastoitu Suomessa. Tällä hetkellä laajamittainen sähkön varastointi akkujärjestelmiin ei ole mahdollista, joten varavoima on helpoiten toteutettavissa dieselgeneraattoreilla.

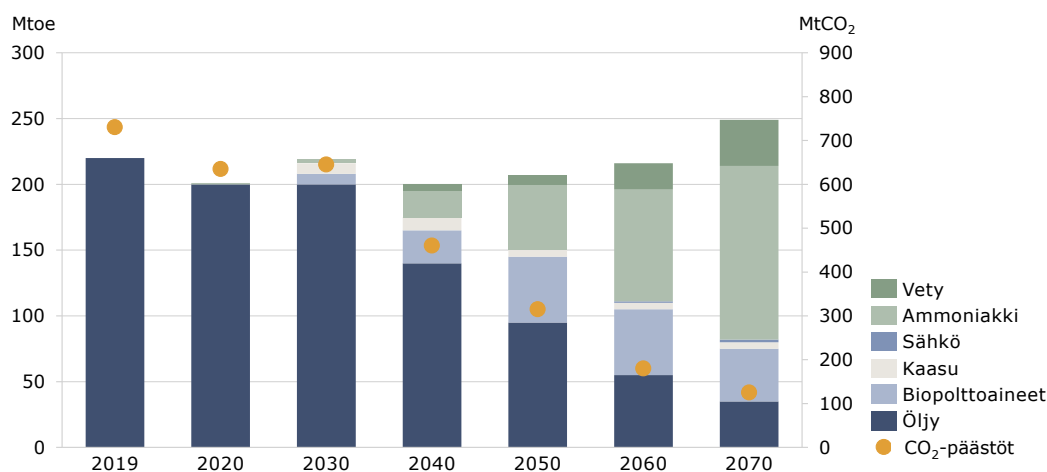
Helsingin kaupungin koordinoima Hiilineutraalit ja resurssiviisaat yritysalueet -hanke (HNRV) on tilannut Teknologia tutkimuskeskus VTT Oy:ltä selvityksen ja tiekartan Vuosaaren sataman työkonetoiminnan hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi (Pellinka, 2020). Raportti käsittelee uusiutuvia polttoaineita, metaanua ja sähköistymistä ja se julkaistaan kevään 2021 aikana.

5.4 Vesiliikenne

Suomella ei ole IMO- ja EU-tavoitteiden lisäksi kansallista tavoitetta meri- ja sisävesiliikenteen päästöjen vähentämiseksi. Fossiilittoman liikenteen tiekartassa painotetaan meriliikenteen merkitystä Suomelle. Lisäksi meri- ja sisävesiliikenteen päästövähennyksiä on käsitelty laajasti raportissa, mutta näille ei ole esitetty numeraalisia tavoitteita lukuun ottamatta sähköä maatielautta- ja yhteysalusliikenteessä. (Valtioneuvosto, 2021) Esimerkiksi Paraisten ja Nauvon välillä kulkee Elektra sähkölautta, jossa mahdollisiin sähkökatkoihin on varauduttu dieselgeneraattoreilla (FinFerries, 2021). Kotimaan vesiliikenteeseen biojakeluväline tuo vähintään 10 % biopolttoaineita polttoöljyyn vuodesta 2028 lähtien.

Pidemmällä aikavälillä merenkulku tulee varmaankin osittain sähköistymään muiden liikennemuotojen tapaan. Osa lähimerenkulun laivoista tulee ehkä toimimaan osan matkasta sähköllä, ja lyhyet matkat kuten lautat ja lossit, voidaan todennäköisesti hoitaa kokonaan sähköllä. Tämän seurauksena maasähkön tarve tulee kasvamaan. EU tulee lähiaikoina esittämään FuelEU Maritime (Euroopan komissio, 2021d) aloitteen puitteissa polttoainestandardia, jossa esitetään rajoituksia meriliikennepolttoaineiden hiili-intensiteetille (maksimi g CO₂ekv per MJ polttoainetta). Samalla EU esittää saastuttavimmille aluksille maasähkön käyttöpakkoa. Polttoainestandardin ja maasähkön käytön vaatimuksia tullaan todennäköisesti kiristämään viiden vuoden välein alkaen vuodesta 2030. Myös IMO:ssa on esitetty konsepteja "low GHG fuel" -standardista.

International Energy Agency (IEA) Technology Perspectives julkaisussa on esitetty projektio kansainvälisen meriliikenteen polttoaineiden kehityksestä (Kuva 43). Julkaisusta huomataan, että muutokset ovat hitaita meriliikenteessä ja vasta vuoden 2060 jälkeen sähkö alkaa erottautumaan muiden energialähteiden joukosta. Huomioitavaa on se, että ammoniakilla energianlähteenä on suuri merkitys ja sen käytön oletetaan lisääntyvän merkittävästi jo vuodesta 2030 alkaen. Lisäksi biopolttoaineiden käytön oletetaan kasvavan vuodesta 2030 alkaen. Vuonna 2040 meriliikenteen polttoainejakaumassa vety vastaa 2 %, kaasu 6 %, ammoniakki 9 %, biopolttoaineet 14 % ja öljy 70 % käytetyistä polttoaineista. (IEA, 2020)



Kuva 43: Projektio kansainvälisen meriliikenteen polttoaineista (IEA, 2020)

IEA:n ja DNV (Det Norske Veritas) ennusteet meriliikenteen polttoaineiden kehityksestä eroavat toisistaan. DNV on ennustanut fossiiliselle LNG:lle suuremman aseman meriliikenteessä kuin IEA. Toisaalta DNV ennustaa biopolttoaineille suurempaa osuutta kuin IEA. Niin IEA kuin DNV ennustavat ammoniakille merkittävää osuutta polttoaineista vuonna 2050. (DNV, 2021; IEA, 2020) CO₂

6 Vaihtoehtoisten käyttövoimien muutosten vaikutukset huoltovarmuuteen ja varmuusvarastoihin

Tieliikenteen sähköistyminen vaikuttaa liikenteen polttoaineiden kokonaiskulutukseen ja siten varmuusvarastoitavien polttoaineiden määrään tulevaisuudessa. Tieliikenteen polttoaineiden valtion varmuusvarastointimäärän (5 kk vastaava) arvioidaan laskevan vuoden 2020 1670 ktoe tasosta 1170 ktoe:hen perusurassa ja 680 ktoe:hen WAM-skenaariossa (With Additional Measures, WAM) vuoteen 2040. Polttoainemäärien muutosten lisäksi, muutokset polttoaineiden laaduissa saattavat aiheuttaa kauppalaatuisten polttoaineiden ja varmuusvarastoitujen polttoaineiden laadullisen eriytymisen. Uusien polttoaineiden varmuusvarastointia ja huoltovarmuutta suunniteltaessa on huomioitava erityisesti polttoaineiden varastointikestävyys ja varastointimahdollisuudet sekä huoltovarmuuteen vaikuttavat polttoaineiden arvoketjun kriittiset tekijät: raaka-aine, tuotanto, jakelu/kuljetus ja käyttö. Raskaan ajoneuvokaluston huoltovarmuus voi olla tarpeellista laajentaa polttoainehuollosta myös ajoneuvojärjestelmien toiminnan varmistamiseen.

6.1 Merkittävimmät huoltovarmuuteen vaikuttavat käyttövoimien muutokset

Vertailtaessa tieliikennettä, työkoneita ja vesiliikennettä, merkittävimmät muutokset käyttövoimissa tullaan näkemään tieliikenteessä, jossa uusiutuvien polttoaineiden ja sähkön osuus käytettävissä energialähteissä kasvaa. Tieliikenteen käyttövoimien kehitys tulee olemaan suurin huoltovarmuustoimintaan vaikuttava tekijä vuoteen 2040 mennessä.

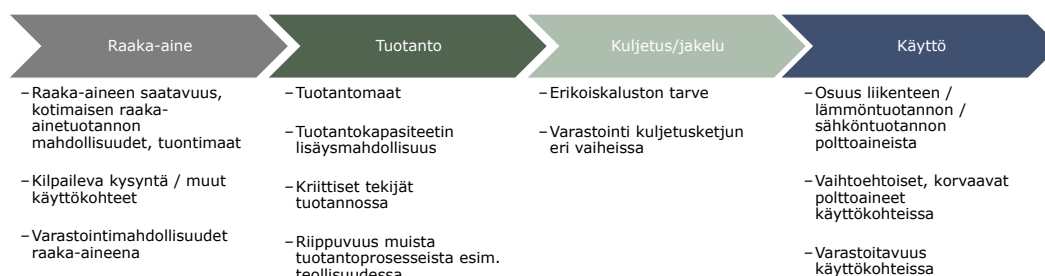
Suomen liikenteessä olennaisimmat vaihtoehtoiset käyttövoimat tulevat olemaan uusiutuva diesel (HVO) ja vastaavanlaiset drop-in dieseltuotteet, bioetanoli, biometaan, bio-SNG, sähkö ja sähköpolttoaineet. Biodieselin eli FAME:n käyttö on ollut viime vuosina vähäistä Suomessa, ollen selvästi alle EN 590 diesel standardin salliman pitoisuuden (max 7 til-%). Tästä johtuen FAME:n käytön ei nähdä kasvavan tulevaisuudessa. Jakeluvaihtoehtona drop-in tyyppisen uusiutuvan dieselin (nyt lähinnä HVO) käytön uskotaan kasvavan lähivuosina edellyttäen, että EU:n määrittämät kestävyyskriteerit täyttyvät ja polttoainetta on riittävästi tarjolla. Biometaanilla ja bio-SNG:llä on käytön kannalta samanlaiset ominaisuudet kuin maakaasulla, joten näillä voidaan korvata maakaasua 100 %. Sähkön nähdään lisääntyvän merkittävästi tieliikenteessä tulevina vuosina. Sähkön liikennekäyttö tulee olemaan aluksi pääosin henkilö-

autoissa, kun taas raskas ajoneuvokalusto tulee sähköistymään hitaasti. Laddattavilla hybridimalleilla voidaan sähkön ohella ajaa myös bensiinillä tai dieselillä.

Vaihtoehtoisten käyttövoimien muutokset ja lisääntyminen liikenteessä luovat varmuusvarastointitarpeita sellaisille polttoainelaaduille, joita ei ole aiemmin varmuusvarastoitu suuressa mittakaavassa. Uusiutuvien polttoaineiden raaka-ainepohja, tuotantokapasiteetti sekä fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet eroavat tällä hetkellä varmuusvarastoitavista fossiilisista polttoaineista. Näin ollen, vaihtoehtoisten käyttövoimien varmuusvarastointia suunniteltaessa käyttövoimien arvoketjuun liittyvät ja huoltovarmuuden kannalta kriittiset tekijät kuten varastointikestävyys on tarkoin selvitettävä ja huomioitava. Seuraavissa luvuissa käsitellään vaihtoehtoisten käyttövoimien muutoksien vaikutuksia huoltovarmuuteen ja varmuusvarastoihin.

6.2 Kriittiset tekijät arvoketjussa

Arvioitaessa vaihtoehtoisten käyttövoimien vaikutuksia huoltovarmuuteen on olennaista ymmärtää, mitkä tekijät käyttövoimien arvoketjussa ovat kriittisiä huoltovarmuuden kannalta (kuva 44). Vaihtoehtoisten käyttövoimien, eli käytännössä polttoaineiden, arvoketju voidaan jakaa neljään vaiheeseen: raaka-aine, tuotanto, kuljetus/jakelu ja käyttö. Käyttövoimakohtaiset arvoketjutarkastelut ja niiden kriittiset tekijät huoltovarmuuden kannalta on tiivistetty seuraavan sivun taulukkoon 6.



Kuva 44 Uusiutuvien polttoaineiden arvoketjun kriittiset tekijät huoltovarmuuden kannalta

Vaihtoehtoisten käyttövoimien saatavuuden kannalta on olennaista huomioida käyttövoimien raaka-aineisiin ja tuotantoon liittyvät tekijät. Tarkasteltaessa raaka-aineita huoltovarmuuden kannalta kriittiset tekijät kohdistuvat raaka-aineen saatavuuteen, kotimaisuusasteeseen, kilpailevaan kysyntään ja raaka-aineiden varastointimahdollisuuksiin. Lähtökohtaisesti nestemäisten uusiutuvien polttoaineiden raaka-aineiden saatavuus ja poliittinen hyväksyttävyys

voivat olla kriittistä polttoaineiden tuotannon ja siten niiden saatavuuden ylläpitämiseksi. Tällä hetkellä HVO ja FAME ovat hyvin riippuvaisia tuontiraaka-aineista, mutta HVO:ssa kotimaisen raaka-aineen kuten mäntyöljyn rooli voi kasvaa tulevaisuudessa. FAME:n tuotannossa käytetään laajalti ruoantuotannon kanssa kilpailevia raaka-aineita, joiden hyväksyttävyys EU-tasolla on heikentynyt viime vuosien aikana ja niiden käyttöä rajoitetaan direktiivien avulla. FAME:n tavoin viljapohjaista bioetanolia ei voida todennäköisesti tuottaa tulevaisuudessa, jos ja kun uusiutuvien polttoaineiden kestävyyskriteereitä tiukennetaan, vaikka kotimaisen bioetanolin tuotannon raaka-ainepohja onkin laajahko.

Taulukko 6 Vaihtoehtoisten käyttövoimien arvoketjun kriittiset tekijät huoltovarmuuden kannalta

Käyttövoima	Käyttö	Raaka-aine	Tuotanto	Kuljetus/jakelu	Varastoitavuus
Uusiutuva diesel (HVO)	Liikenteessä käyttö kuten fossiilisella dieselillä, sekoitusvelvoitteen ja kestävyyskriteerien piirissä.	Riippuvuus rasvojen tuonnista jatkunee, mutta kotimaisen raaka-aineen rooli voi kasvaa.	Keskittynyt: Laitoksia vain 2-5, mutta kotimainen tuotanto ylittanee käytön. Riippuvainen vedystä	Kuten fossiilisella dieselillä	Valmiina tuotteena kuten fossiilisella dieselillä, rasvakraaka-aine huonosti säilyvää.
Biodiesel (FAME)	Liikenteessä käyttö rajoitettua vain 7 til-%:iin. Käyttö Suomessa ollut vähäistä viime vuosina.	Tuonti FAME:na, jos ollenkaan. Ruokaperäisen raaka-aineen kestävyys kyseenalainen.	Todennäköisesti ei merkittävää kotimaista tuotantoa.	Erityisvaatimuksia pitempiaikaiselle säilytykselle: herkkä hapelle, ilmankosteudelle, valolle ja korkeille lämpötiloille. FAME:n rasvahappojen kaksoissidokset voivat olla reaktiivisia tietyjen materiaalien kanssa. Kaupallinen ikä laadusta riippuen puolesta vuodesta vuoteen.	
Bioetanoli	Liikennekäytössä nykyautokannalla käytettävissä vain 5-10% seoksina. FFV-autoissa korkeampi käyttömahdollisuus.	Kotimaisen tuotannon raaka-ainepohja laajahko. Viljapohjaisen etanolin valmistus ei luultavasti toteudu, kun kestävyyskriteereitä tiukennetaan.	Hajautunut: Maailman yleisin biopolttoaine, kotimaassa vain pientä tuotantoa, joka ei kata kysyntää.	Jopa korkeaseoksen RE85/E85-polttoaineen jakelussa ei ongelmia.	Jos etanolia varastoidaan pelkästään, on riskinä että se kerää vettä. Sekoitettuna bensiiniin riskinä yli vuoden varastoinnissa on polttoaineen faasiutuminen sekä veden kertyminen.
Biometaani	Samat ominaisuudet kuin maakaasulla. Käyttö jokseenkin paikallista.	Yksittäisissä kohteissa riippuvuus yhdestä tai muutamasta raaka-aineesta. Mahdollisuus laajentaa syötteitä optimoimalla prosessia.	Paineistettu kaasu hajautunut: useita pieniä reaktorilaitoksia. Nesteytetty kaasu keskittynyt.	Järkevintä kaasuna putkistossa tai LNG/LBG. Myös kaasukontit mahdollisia.	Yhtenevä maakaasun kanssa
Bio-SNG	Samat ominaisuudet kuin maakaasulla. Yhtenäinen maakaasuverkko (maakaasualue)	Monipuoliset puupohjaiset raaka-ainelähteet	Erittäin keskittynyt: Laitoksia enintään muutama v.2030 mennessä. Uusi teknologia.	Järkevintä kaasuna putkistossa tai LNG/LBG. Myös kaasukontit mahdollisia.	Yhtenevä maakaasun kanssa
Sähkö	Liikennekäyttö aluksi pääosin henkilöautoissa, raskas kalusto sähköistyy hitaasti. Lattavat hybridit voivat ajaa myös bensiinillä tai dieselillä.	Uusiutuvan sähkön tuotanto kasvaa erityisesti tuuli- ja aurinkoenergian osalta.	Liikenteen sähkönkulutuksen osuus pysyy maltillisena (<10% vuoteen 2040 asti,	Vaatii oman latausinfraan, joka voi alueellisesti tuoda haasteita sähköverkolle	Sähkön varastointi on vielä kehitymässä, mutta kasvava tuulivoiman tuotanto lisää varastoinnin tarvetta ilman liikenteen sähköistymistakin

Värikoodit

Neutraali

Melko negatiivinen

Negatiivinen

Biometaanissa raaka-aineen poliittinen hyväksyttävyyys ei ole ongelmallista, vaan lähinnä hajautuneen pientuotannon takia paineistetun metaanin tuotanto on riippuvainen yksittäisistä tai muutamista lähialueen raaka-aineista. Sen sijaan nesteytetyn biometaanin tuotanto on taas keskittynyt muutamaa isoon tuotantolaitokseen, mutta nesteytetyn biometaanin osalta voidaan tukeutua jossain määrin myös tuontiterminaalivarastoihin.

Bio-SNG:n tuotannossa raaka-aineen saatavuudessa ei nähdä olevan merkittävästi haasteita, koska tuotannossa voidaan hyödyntää monipuolisesti erilaisia puupohjaisia raaka-ainelähteitä. Kestävältä Bio-SNG:ltä edellytetään kuitenkin riittävää kasvihuonekaasuvähenemää, mikä vaikuttaa raaka-ainevalintaan. Bio-SNG:n tuotantoteknologia on vielä hyvin uutta, joten Bio-SNG -laitoksia arvioidaan tulevan suomeen enintään muutama ennen vuotta 2030. Bio-SNG:n tavoin uusiutuvan sähkön saatavuudessa ei myöskään nähdä haasteita, koska tuotanto kasvaa erityisesti tuuli- ja aurinkoenergian osalta.

Vaihtoehtoisten käyttövoimien tuotannon näkökulmasta huoltovarmuuden kriittisiksi tekijöiksi nousevat esimerkiksi tuotannon sijainti, lisäysmahdollisuudet ja tuotannon riippuvuus muista teollisuuden prosesseista. Paineistetun biometaanin tuotannon hajautuneisuus ja sähkön kysynnän maltillisuus liikenteessä nähdään positiivisina asioina huoltovarmuuden näkökulmasta. Sen sijaan hyvin keskittynyt tuotanto ja alhainen kotimaisuusaste voivat aiheuttaa haasteita huoltovarmuusvarastojen ylläpitämisessä. Esimerkiksi HVO:n tuotanto on hyvin riippuvainen vedystä ja kotimaisia tuotantolaitoksia arvioidaan olevan vain 2-5 kappaletta vuoteen 2040 mennessä. Toisaalta kotimaisen tuotannon arvioidaan ylittävän kotimaiset kysyntämäärät, vaikka tuotanto on riippuvainen tuontiraaka-aineesta. Bensiinin joukossa käytettävän etanolin tulee olla absoluutoitua eli käytännössä lähes vedetöntä (vesipitoisuus 0,3 % tai alle) faasierottumisen välttämiseksi. Absolutointilaitoksia on maailmalla vähemmän kuin etanolin tuotantolaitoksia, ja absolutointilaitokset ovat kriittinen osa etanolin käytön arvoketjua. Suomessa St1:llä on absolutointilaitos Haminassa.

Vaihtoehtoisten käyttövoimien arvoketjun loppupäässä huoltovarmuuden kannalta huomionarvoista on uusiutuvien polttoaineiden kuljetus ja jakelu sekä käyttövoimien muut käyttökohteet sekä erityisesti varastoitavuus. Sähkön jakelu liikenteeseen vaatii muun muassa oman latausinfra, joka voi luoda alueellisesti haasteita sähköverkoille sähkön jakelun häiriötilanteissa. Lisäksi sähkön varastointi on vasta kehittymässä, jolloin sähkön jakelun häiriötilanteita varten tulee olla varautunut muilla energialähteillä. Sähköön perustuvien ajoneuvojen, erityisesti kriittisten ajoneuvojen, toiminta tulisi taata myös sähkön jakelun häiriötilanteissa joko varmennetuilla verkkoratkaisuilla tai varavoi-malla kuten dieselsäilytysillä aggregaateilla. Aggregaattien polttoaineen tarve

tulisi huomioida, vaikka fossiilisten polttoaineiden varastointimäärä näyttäisi muuten laskevan. Sähkön häiriöihin voitaisiin myös varautua sähköverkon järjestelmätason varmistuksilla siten, että häiriöt voitaisiin minimoida ja sähkönjakelu pitää stabiilina. Lisäksi tulevaisuudessa sähkön varastointi akkuvarastoissa voi olla yksi keino varmistaa sähkön katkeamaton jakelu, mutta tällä hetkellä akkuvarastot eivät ole vielä yleistyneet esimerkiksi kustannussyistä. Perinteisesti sähkönhuolto on ollut Suomessa erittäin toimintavarmaa, jonka toimintavarmuutta kehitetään jatkuvasti mm. tuulivoimakapasiteetin lisääntyessä.

Nestemäisistä polttoaineista biodiesel eli FAME on kaikkein haasteellisin vaihtoehtoinen käyttövoima, koska sen raaka-aineen kestävyyskysymykset, kotimaisen tuotannon vähyys sekä erityisvaatimukset kuljetukselle ja jakelulle sekä varastoinnille tekevät siitä haasteellisen polttoaineen varmuusvarastoinnin näkökulmasta. Näin ollen FAMEn merkitys on tässä yhteydessä olematon.

Muiden vaihtoehtoisten uusiutuvien polttoaineiden (HVO, bioetanoli, biokaasu, bio-SNG) kuljetus- ja jakelukalustossa ei nähdä haasteita huoltovarmuuskölkulmasta, koska niiden kalustotarpeet ovat joko rinnastettavissa fossiilisten polttoaineiden kuljetus- ja jakelukalustoon tai niiden jakelussa muilla tavoin ei olla havaittu suurempia haasteita nykytilanteessa. Näistä neljästä käyttövoimasta ainoastaan bioetanoli ja metaani nähdään hieman haasteelliseksi varastoitavuuden näkökulmasta. Uusiutuvien polttoaineiden laadut ja varastoitavuus käsitellään tarkemmin luvussa 6.3.

Huoltovarmuuden kannalta poikkeustiloja voivat olla esimerkiksi tuonnin ja viennin pysähtyminen, raaka-aineiden tai tuontipolttoaineiden saatavuushäiriöt sekä kotimaisen polttoaineen tuotantokapasiteetin häiriöt. Lisäksi huoltovarmuuden suunnitteluun ja ylläpitämiseen voi merkittävästi vaikuttaa muutokset uusiutuvien polttoaineiden ja vaihtoehtoisen käyttövoimien ohjauskeinoissa, sääntelyssä ja tukipolitiikassa. Näiden poikkeustilanteiden vaikutukset uusiutuvien energialähteiden huoltovarmuuteen on esitetty seuraavan sivun taulukossa 7.

Suomen tuonti- ja vientiliikenteen pysähtyminen olisi kaikkein haitallisinta uusiutuvan dieselin (HVO) ja bioetanolin saatavuudelle, koska erityisesti HVO-polttoaineiden tuotanto on vahvasti tuontiraaka-aineiden varassa kuten fossiiliset polttoaineet. Lisäksi HVO:n tuotannossa tarvitaan vetyä, joten maakaasun tuonnin pysähtyminen olisi erittäin kriittistä HVO:n tuotantoprosesseille. HVO:n tuotantohäiriöt kotimaisissa laitoksissa voisivat aiheuttaa suuria uusiutuvien polttoaineiden saatavuusongelmia, koska kotimainen tuotanto on keskittynyt muutamaa isoon laitokseen. Sen sijaan bioetanolin tuotannosta vain

osa on kotimaista, jolloin kotimaisen tuotannon häiriöitä voitaisiin kompensoida tuontipolttoaineilla. Bioetanolin kysyntä ei kuitenkaan ole kovinkaan suurta sen sekoitusrajoitteiden takia.

Taulukko 7 Poikkeustilanteiden vaikutus uusiutuvien energialähteiden huoltovarmuuteen

	POIKKEUSTILANTEET					
Polttoaine	Tuonti/vienti seis	Kotimaisen aineen vuushäiriö	raaka-saata-vuushäiriö	Tuontipolttoaineiden/ tuontiraaka-aineen saata-vuushäiriö	Kotimaisen polttoaineen tuotantokapasiteetin häiriö	Ohjauskeinojen, sääntelyn ja tukipolitiikan muutokset
Uusiutuva diesel (HVO)	Raaka-aineista valtaosa tuonnin varassa. Maakaasun tuonti seis -> prosessissa kriittisen vedyn saatavuus heikkenee	Vain osa tuotannosta perustuu kotimaisiin raaka-aineisiin		Raaka-aineista valtaosa tuonnin varassa. Maakaasun tuonti seis -> prosessissa kriittisen vedyn saatavuus heikkenee	Vain 2-3 laitosta, jotka isoja	Kannattavuus politiikan varassa, raaka-ainepohjaan (erit. palmuöljyjakeet) liittyy poliittisia riskejä ja EU:n kestävyyskriteerit voivat kiristyä
Bioetanoli	Vain osa kotimaista	Vain osa kotimaista ja kotimainen raaka-aine laajapohjaista		Pääosin tuontia	Vain osa kotimaista	Kannattavuus politiikan varassa, viljapohjaisen tuotannon kehitys epätodennäköistä
Biometaani	Kotimainen raaka-aine ja tuotanto voi korvata tuontipolttoainetta	Raaka-ainepohja laaja		Kotimaisen varassa	Kotimainen tuotanto. CBG hajautunut pieniin laitoksiin. LBG keskittynyt muutamaan suureen laitokseen	Uudet investoinnit tukien varassa
Bio-SNG	Kotimainen raaka-aine ja tuotanto voi korvata tuontipolttoainetta	Metsäteollisuus-riippuvainen, mutta mahd. käyttää pyöreätä puuta		Kotimaisen varassa	Vain yksi laitos	Investointituki oleellinen hankkeen toteutumiselle
Biodiesel (FAME)	Tuonnin varassa, mutta merkitys hyvin pieni	Ei tuotantoa		Tuonnin varassa	Ei tuotantoa	Kannattavuus politiikan varassa, EU:n kestävyyskriteerit voivat kiristyä
Sähkö	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta		Tuontisähkön saatavuushäiriöt voivat rajoittaa sähkön saatavuutta, ellei teollisuuden kysyntäjoustot riitä tasapainottamaan verkkoa	Ei vaikutusta	Sähkömarkkinan sääntelyssä ei ole nähtävissä suuria muutoksia. Uusiutuvien osuuden kasvu voi johtaa verkon ylläpidolle uusia ohjauskeinoja
Sähkölaitteet	Ei vaikutusta	Kotimaisen sähkön toimitushäiriöt pysäyttävät tuotannon		Ei vaikutusta	Sähkölaitteiden tuotanto hyvin vähäistä vuoteen 2030. Myöhemmin osuus voi kasvaa, mutta tuskin kriittiseksi.	Suuri panostus EU:n ja Suomen tasolla vedyn ja sähkölaitteiden kehittämiseksi ja tuotannon kasvattamiseksi

Värikoodit

Neutraali	Melko negatiivinen	Negatiivinen	Positiivinen
-----------	--------------------	--------------	--------------

Biometaanin ja bio-SNG:n osalta tuontiliikenteen pysähtyminen ei vaikuttaisi polttoaineiden saatavuuteen Suomessa, koska näiden polttoaineiden raaka-aine ja tuotanto ovat kotimaisia. Toisaalta taas biometaani ja bio-SNG ovat herkkiä kotimaisen raaka-aineen tai tuotannon häiriöille, mutta useasta tuotantolaitoksesta muodostuva verkosto parantaa kaasun toimintavarmuutta poikkeustilanteissa. Latvian ja Puolan kaasuputken valmistuessa Suomi on osa

yhteiseurooppalaista kaasumarkkinaa, jolloin biometaanua voidaan tuoda sertifikaattijärjestelmän puitteissa ilman fyysistä tuontivelvoitetta. Tällöin riittää, että Suomessa on fyysisesti maakaasua ja biokaasun tuonti hoidetaan virtuaalisesti sertifikaattien avulla.

Sähkön tuonnin pysähtymisellä voisi olla vaikutusta sähkön suoraan käyttöön liikenteessä, jos teollisuuden kysyntäjoukset eivät pystyisi tasapainottamaan sähköverkkoa tuontisähkön saatavuushäiriöiden aikana. Sen sijaan sähkön avulla tuotettujen vedyn ja sähköpolttoaineiden käyttöön, tuonnin pysähtymisellä ei nähdä olevan vaikutusta, koska sähköpolttoaineiden saatavuus olisi hyvin todennäköisesti tulevaisuudessa sidottu kotimaiseen tuotantoon eikä tuontisähköön. Sähköverkon ja kulutuksen priorisoinnissa sähköpolttoaineiden tuotantolaitokset voisivat toimia kriisitilanteissa kysyntäjoukseton, jolloin näiltä laitoksilta vapautuva sähkö voitaisiin käyttää yhteiskunnan kriittisempiin toimintoihin. Sähköpolttoaineiden tuotannon nähdään olevan kuitenkin hyvin vähäistä vuoteen 2030 mennessä.

Ohjauskeinojen, sääntelyn ja tukipolitiikan muutokset vaikuttaisivat eniten uusiutuvan dieselin (HVO:n), bioetanolin, biodieselin (FAME) ja bio-SNG:n kysyntään, ja heijastuen saatavuuteen uusinwestointien kautta. Poliittiset päätökset ja investointituet ovat näille polttoaineille kriittisiä toiminnan alkuvaiheessa taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta. Nestemäisten uusiutuvien polttoaineiden kannattavuuteen ja saatavuuteen vaikuttavat olennaisesti esimerkiksi muutokset EU:n kestävyyskriteereissä. Lisäksi HVO:n raaka-ainepohjaan liittyy myös poliittisia riskejä, eritoten palmuöljyjakeiden käyttöön raaka-aineena. Sen sijaan poliittisen ohjauksen positiivisen vaikutuksen nähdään kohdistuvan erityisesti sähköpolttoaineiden ja vedyn kehittämiseen ja tuotannon kasvattamiseen. Yhtenä merkittävämpänä seikkana on edullisen uusiutuvan tai hiilivapaan sähkön saanti vedyn tuotantoon. Mahdollisen liikenteen päästökaupan lisäksi, kansallisella verotuksella on keskeinen rooli niin liikenteen käyttövoimien kuin uusiutuvien polttoaineiden kilpailukyvyn kehittämisessä.

Arvoketju- ja poikkeustilannetarkastelun pohjalta voidaan todeta, että vaihtoehtojen käyttövoimien raaka-aineiden ja tuotannon kotimaisuusaste sekä tuotannon kannattavuuden sidonnaisuus poliittisiin ohjauskeinoihin ja tukiin määrittävät suurelta osin näiden käyttövoimien saatavuuden poikkeustilanteissa. Kotimainen raaka-aine ja tuotanto ei ole tuontiliikenteen häiriöiden piirissä, kun taas kotimaisten tuotannon häiriöt ja raaka-aineen saatavuusongelmat voivat olla kriittisiä tällaisille käyttövoimille. Sähkön saatavuus liikenteen suoraan käyttöön nähdään verrattain stabiiliksi, koska suurin osa edellä käsitellyistä poikkeustilanteista ei vaikuta sähkön saatavuuteen.

6.3 Varmuusvarastoitavien tuotteiden laatu

Huoltovarmuuskeskus ei ole tällä hetkellä velvollinen varastoimaan biopolttoaineita ja polttoaineiden biokomponentteja, vaan ainoastaan fossiilisia polttoaineita. Tällä toteutusratkaisulla on voitu myös välttää biopolttoaineiden pitkäaikaisvarastoinnista aiheutuvat haitat. Käyttövoimien kehityksen myötä Huoltovarmuuskeskuksen on todennäköisesti varastoitava tulevaisuudessa fossiilisten polttoaineiden rinnalla myös uusiutuvia polttoaineita.

Biopolttoaineiden ja -komponenttien laatu ja varastointikestävyys on tärkeää huomioida uusiutuvien nestemäisten polttoaineiden huoltovarmuusvarastoinnin suunnittelussa. Lakisääteiset, laatustandardin mukaiset ja markkinalähtöiset vaatimukset määrittävät vaatimukset polttoaineiden laadulle. Useat polttoainetoimijat kuten Neste ja UPM ovat laatineet omat erilliset polttoainekäsikirjat, joissa on määritelty jaeltavien polttoaineiden laatuominaisuudet.

Kasviöljyistä ja rasvoista valmistetun biodieselin eli FAME:n laatuvaatimukset määritellään standardissa EN 14214. FAME poikkeaa kemialliselta rakenteeltaan fossiilisesta dieselistä muun muassa sen korkean viskositeetin sekä sen sisältämän hapen ja epäpuhtauksien osalta. Biodiesel on herkkä hapettumiselle, ilmankosteudelle, valolle ja korkeille lämpötiloille, minkä takia sillä on erityisvaatimuksia varastoinnissa. FAME:n rasvahappojen kaksoissidokset voivat muun muassa olla reaktiivisia tiettyjen materiaalien kanssa. FAME:a ei suositella hapettumisen vuoksi pitkäaikaisvarastointiin, vaan sitä suositellaan varastoimaan enintään kuuden kuukauden ajan (IEA, 2021a; Öljy- ja biopolttoaineala ry, 2016). Säilyvyysongelmien takia Huoltovarmuuskeskus ei varmuusvarastoi tällä hetkellä laisinkaan FAME:a sisältäviä polttoaineita.

Bioetanoli on merkittävin biokomponentti, jota käytetään bensiinimarkkinoilla. Etanoli ei sisällä aromaattisia yhdisteitä eikä rikkiä, mutta se sisältää paljon happea (happipitoisuus 35%) (IEA, 2021b). Etanolin hydrofiilisten ominaisuuksien takia on riskinä, että etanoli imee herkästi vettä itseensä, jos sitä varastoidaan yksinään. Myös bensiiniin sekoitettuna etanoli voi yli vuoden varastoinnissa kerätä vettä itseensä ja sen takia erottua omaksi faasikseen. Faasierottumisen välttämiseksi bensiinin joukossa käytettävän etanolin tulee olla absolutoitua eli lähes vedetöntä (vesipitoisuus 0,3 % tai alle). Huoltovarmuuskeskuksen varmuusvarastoissa oleva bensiini sisältää maksimissaan 5 % absolutoitua etanolia eli on laadultaan E95:ta.

Synteettisiä parafiinisia dieselpolttoaineita voidaan valmistaa muun muassa kaasutuksella, Fischer-Tropsch menetelmällä ja vetykäsittelyllä. Parafiinisilla

polttoaineilla on korkea setaaniluku (syttymisherkkyys) ja ne eivät sisällä rikkiä, typpeä, happea eikä aromaattisia yhdisteitä (IEA, 2021c). Uusiutuva diesel eli HVO luokitellaan parafiiniseksi dieseliksi ja sen laatuvaatimukset määritellään EN 15940 -standardissa. HVO on kemialliselta rakenteeltaan fossiilisen dieselin kaltaista. (St1, 2021) Oletusarvoisesti HVO:n varastointikestävyys on siis rinnastettavissa fossiilisiin polttoaineisiin (Öljy- ja biopolttoaineala ry, 2016), ellei HVO ole tuotettu rasvaraaka-aineista, joka on huonosti säilyvää. Suomessa Neste Oyj:llä on kokemuksia HVO:n varastoinnista, joissa pisimmät varastointiajat ovat olleet yli 10 vuotta (Neste, 2020). Vaikka HVO on hiilivetypohjainen polttoaine ja laadultaan fossiilisen polttoaineen kaltaista, HVO:n ja muiden uusiutuvien polttoaineiden pitkäaikainen varastointikestävyys tulisi erikseen tutkia kokeellisesti Huoltovarmuuskeskuksen varmuusvarastoissa.

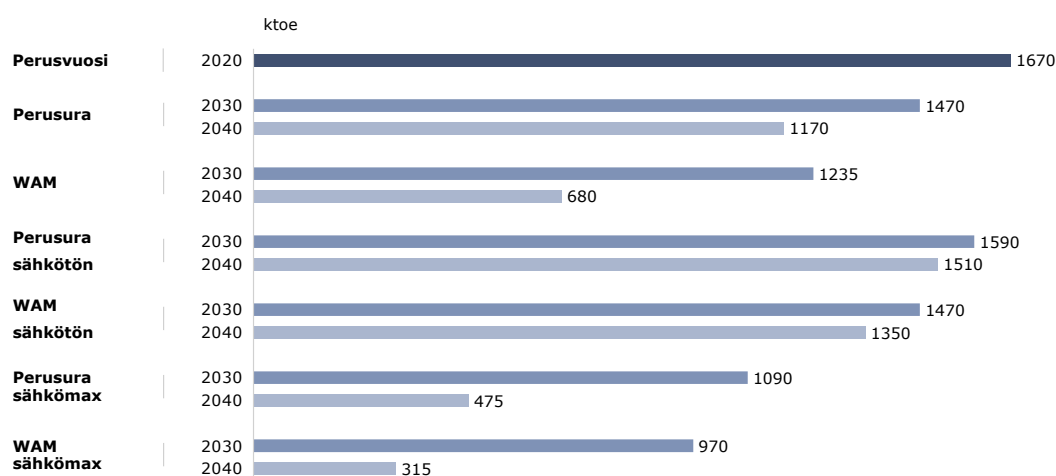
Polttoaineiden varmuusvarastointia suunniteltaessa on huomioitava tulevaisuuden muutokset muun muassa polttoaineiden laadussa. Markkinalaadut ja varmuusvarastoitavat polttoainelaadut voivat eriytyä toisistaan. Tällöin turvallisiksi havaittu fossiilinen polttoaine nykytilanteessa ei välttämättä täytä laatuvaatimuksia markkinamielessä 10-20 vuoden kuluttua, vaikka se teknisiltä ominaisuuksiltaan olisikin vielä käyttökelpoista. On myös huomioitava, että esimerkiksi HVO-laadut voivat vaihdella paljonkin riippuen raaka-aineesta ja eri valmistajien käyttämistä prosesseista. Varastointivarmojen uusiutuvien polttoaineiden kysyntä tulee kasvamaan tulevaisuudessa, mikä entisestään korostaa tarvetta HVO:n ja muiden polttoainelaatujen systemaattiselle pitkäaikaisvarastoinnin tutkimiselle ja kokeille. Lisäksi varastojen kiertonopeuden suunnittelulla voitaisiin vaikuttaa polttoaineiden varastointiaikoihin ja polttoainelaatujen ajantasaisuuteen kauppalaatuihin nähden.

Nesteytetyn metaanin, sähkön ja vedyn varastointihaasteet eivät niinkään liity varastointikestävyyteen, vaan varastoinnin teknis-taloudelliseen toteuttamiseen. Nesteytetyn metaanin varastoinnissa metaanin on pysyttävä nestemäisessä muodossa. Jos kaasun nestemäistä olomuotoa ei pystytä ylläpitämään kaasun jatkuvalla käytöllä, varastointi vaatii erillisen jäähdytysjärjestelmän. Nesteytetty metaani on siis teknisesti mahdollista varastoida, mutta erilliset jäähdytysjärjestelmät lisäävät varastoinnin investointikustannuksia. Sähkön akkuvarastot eivät myöskään ole yleistyneet mm. kustannussyistä.

6.4 Varmuusvarastoitavien tuotteiden määrä

Varmuusvarastoitavat polttoainemäärät voivat muuttua tulevaisuudessa merkittävästi riippuen siitä, miten liikenteen käyttövoimat todellisuudessa kehittyvät. Kuvassa 45 on esitetty arviot valtion varmuusvarastoissa varastoitavien tieliikenteen polttoainemäärien muutoksista vuoteen 2040. Arviot pohjautuvat

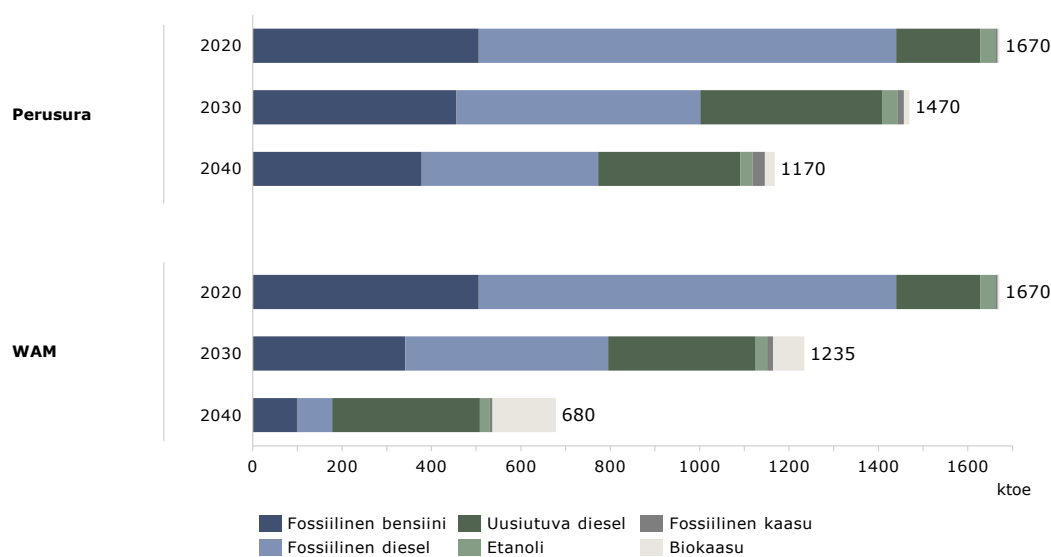
luvussa 5 (taulukko 3 ja kuva 37) esitettyihin tieliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksiin tarkastelluissa kuudessa eri skenaariossa vuosina 2020, 2030 ja 2040. Kuvassa esitetyt luvut sisältävät sekä fossiiliset että uusiutuvat polttoaineet ja ne vastaavat tieliikenteen polttoaineiden viiden kuukauden normaalikulutusta. Varmuusvarastoinnin näkökulmasta on tärkeää huomioida polttoaineiden määrä maksimissaan, koska mahdollisessa sähkön saatavuuden häiriötilanteessa kaikki ladattavat hybridit käyttäisivät myös polttoainetta. Häiriötilanteissa tarvittaisiin suuri määrä lähinnä dieselin perustuvaa varavoimaa, että sähköautot saataisiin pysymään liikenteessä.



Kuva 45: Viiden kuukauden kulutusta vastaavat tieliikenteen polttoainemäärät valtion varmuusvarastoissa kuudessa eri ennusteskkenaariossa vuoteen 2040

Tieliikenteen polttoaineiden valtion varmuusvarastointimäärien arvioidaan laskevan vuoden 2020 1670 ktoe tasosta 1170 ktoe:hen perusurassa ja 680 ktoe:hen WAM-skenaariossa vuoteen 2040. Varmuusvarastointimäärien arvioidaan siis laskevan perusurassa noin 500 ktoe ja WAM-skenaariossa noin 1 Mtoe. Polttoainemäärien suuri ero on selitettävissä pääosin sähköistymisen korkeammalla asteella WAM-skenaariossa. Jos tieliikenteen käyttövoimien kehityksessä ei huomioitaisi laisinkaan sähköä, valtion tieliikenteen polttoaineiden varmuusvarastointitarve olisi 1510 ktoe perusurassa (perusura sähkötön) ja 1350 ktoe WAM-skenaariossa (WAM sähkötön) vuonna 2040. Jos sen sijaan tarkastellaan tieliikenteen sähköistymisen toista ääripäätä olettaen, että vuonna 2040 sähköajoneuvoja olisi maksimaalinen määrä, tieliikenteen polttoaineita tulisi varastoida valtion varmuusvarastoissa ainoastaan 475 ktoe perusurassa (perusura sähkömax) ja 315 ktoe WAM-skenaariossa (WAM sähkömax).

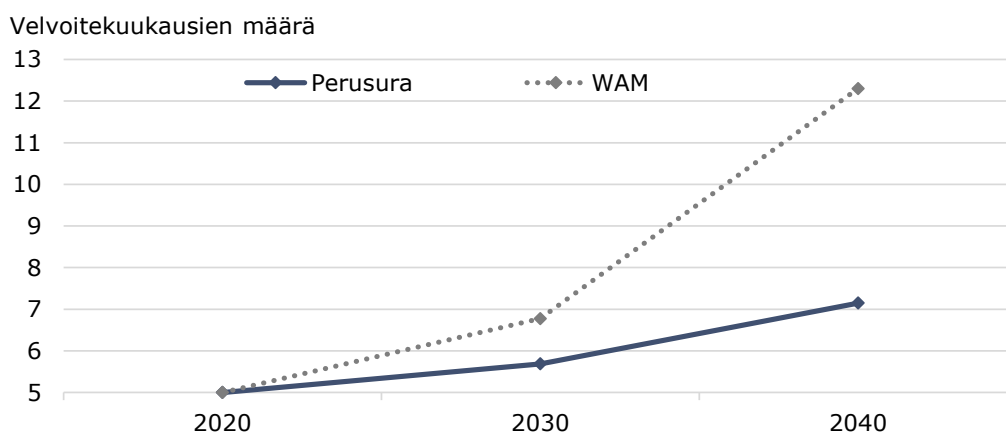
Työryhmä uskoo, että liikenteen käyttövoimien kehitys tulee todennäköisesti toteutumaan perusuran ja WAM-skenaarioiden välimaastossa. Kuvassa 46 on esitetty näiden kahden skenaarioiden pohjalta tieliikenteen polttoaineiden valtion varmuusvarastointimäärät (5 kk) polttoainetyypeittäin. Perusurassa tieliikenteen fossiilisten polttoaineiden absoluuttinen vuosikulutus laskee noin 1450 ktoe:sta 800 ktoe:een vuoteen 2040 mennessä, kun taas WAM-skenaariossa fossiilisten polttoaineiden määrä on vain noin 185 ktoe vuonna 2040. Perusurassa uusiutuvien ja biopolttoaineiden absoluuttiset määrät sen sijaan ensin kasvavat vuoteen 2030 saakka, jonka jälkeen niiden määrät laskevat liikenteen sähköistymisen lisääntyessä. WAM-skenaariossa sen sijaan uusiutuvien ja biopolttoaineiden absoluuttiset määrät kasvavat aina vuoteen 2040 saakka oletetun biometaanin kulutuskasvun ja sähköistymisen myötä. Jos varmuusvarastointi koskisi uusiutuvia polttoaineita, vuonna 2020 uusiutuvien ja biopolttoaineiden valtion varmuusvarastointimääräksi on arvioitu 230 ktoe. Valtion varmuusvarastoissa varastoitavien uusiutuvien polttoaineiden oletetaan olevan perusurassa 455 ktoe ja WAM-skenaariossa 425 ktoe vuonna 2030. Vuonna 2040 uusiutuvien ja biopolttoaineiden varmuusvarastointimääräksi arvioidaan noin 370 ktoe perusurassa ja 490 ktoe WAM-skenaariossa.



Kuva 46 Valtion varmuusvarastoissa (5 kk) varastoitavien tieliikenteen polttoaineiden määrät polttoainetyypeittäin LVM:n perusurassa ja WAM-skenaariossa

Perusurassa fossiilisten polttoaineiden osuus putoaa siis 86 %:sta 69 %:iin vuoteen 2040 mennessä ja vastaavasti uusiutuvien tai biopolttoaineiden osuus kasvaa 14 %:sta 31 %:iin. WAM-skenaariossa sen sijaan varmuusvarastoitavien polttoaineiden osuudet kehittyvät vuoteen 2040 seuraavasti: fossiilisten osuus laskee 86 %:sta 27 %:iin ja uusiutuva/bio kasvaa 14 %:sta 73 %:iin.

Tieliikenteen polttoaineiden kulutuksen laskiessa, valtion varmuusvarastoissa varastoitavat tieliikenteen polttoainemäärät voitaisiin pitää vakiona (1 670 ktoe perusvuonna 2020), jos esimerkiksi varastointivelvoitteen kulutusta vastaavaa aikamäärettä korotettaisiin. Perusurassa valtion varastointivelvoitetta tulisi nostaa viidestä kuukaudesta melkein kuuteen kuukauteen vuonna 2030 ja yli seitsemään kuukauteen vuonna 2040 (kuva 47). Tämä tarkoittaisi huoltovarmuuskeskuksen osalta kolmen kuukauden sijasta neljän kuukauden varastointivelvoitetta vuonna 2030 ja yli viiden kuukauden varastointivelvoitetta vuonna 2040 olettaen, että toimijoiden velvoitevarastot säilyvät kahdessa kuukaudessa. Vastaavasti WAM-skenaariossa valtion varastointivelvoite tulisi nostaa melkein seitsemään kuukauteen vuonna 2030 ja jopa yli 12 kuukauteen vuonna 2040. Huoltovarmuuskeskuksen varastointivelvoitteessa muutos vastaisi velvoitteen nostoa melkein viiteen kuukauteen vuonna 2030 ja jopa yli 10 kuukauteen vuonna 2040.



Kuva 47 Valtion varmuusvarastojen velvoiteajan (kuukausina) muuttuminen suhteessa varmuusvarastoitavien tieliikenteen polttoaineiden muutoksiin

6.5 Raskaan kaluston toimintavarmuus

Tieliikenteen kaasupohjaisten käyttövoimien kehitystä tarkasteltaessa nähdään, että kaasuajoneuvot tulevat yleistymään ensisijaisesti raskaassa kalustossa. Suomessa raskas ajoneuvokalusto on yksi merkittävimpiä kriittisen tavariikenteen kuljetusmuodoista. Maakuljetuspoolin mukaan kriittisiä kuljetuksia ovat mm. energia-, kemikaali-, lääke- ja lämpösäädellyt kuljetukset (Orre, 2021)

Raskaan ajoneuvokaluston toiminnan varmistamiseen liittyy polttoainehuollon lisäksi myös ajoneuvoteknologiaan liittyvät tekijät. Täten raskaan kaluston

huoltovarmuus ei välttämättä voi keskittyä tulevaisuudessa ainoastaan poltto-
ainehuollon varmistamiseen vaan huoltovarmuutta on laajennettava myös ajo-
neuvojärjestelmiin.

Kuvassa 48 on hahmoteltu raskaan kaluston toimintavarmuuteen vaikuttavia
tekijöitä. Kaluston liikkuvuuden takaamiseksi ensisijaisesti ajoneuvojen polt-
toainehuolto on turvattava. Dieselmääräisten ajoneuvojen huoltovarmuus on
yksinkertaisempi taata kuin kaasukäyttöisten ajoneuvojen. Liikenteen kaasun
(metaanin) saanti poikkeustilanteissa voidaan taata kotimaisella tuotannolla
(puhdistettu biokaasu eli biometaani), hyödyntämällä kaasuverkostossa ole-
vaa kaasua (jos muuta käyttöä rajoitetaan) ja nesteytetyn kaasun (LNG) va-
rastojen avulla. Paineistetun metaanin (CNG) tankkaukseen tarvitaan suurte-
hokompressoreita, joiden sähkön saanti poikkeustilanteessa tulisi varmistaa.
LNG varastot puolestaan vaativat jäädytystä, jos kaasun käyttö ei ole jatku-
vaa. Tästä johtuen LNG varastot eivät välttämättä sovellu pitkäaikaisvaras-
tointiin tai niiden käytöstä syntyy merkittäviä lisäkustannuksia.

Kaasujakin haastavampaa on taata sähköisen ajoneuvokaluston liikkuminen
poikkeustilanteissa, jota käsiteltiin jo aiemmin luvussa 6.2. NykYTEKNIKALLA EI
OLE MAHDOLLISTA VARASTOIDA SUURIA SÄHKÖMÄÄRIÄ. Sähköajoneuvojen toiminta pi-
tää siten turvata joko varmennetuilla sähköverkoilla tai varavoimakoneilla. Va-
ravoimakoneilla voitaisiin, koneikkojen koosta riippuen syöttää esim. paikallis-
verkkoja tai yksittäisiä kohteita. Arvio on, että kehitys yhteiskunnassa kulkee
yleisestikin siihen suuntaan, että varavoiman tarve kasvaa.



Kuva 48 Ajoneuvoteknologian huoltovarmuuteen vaikuttavia tekijöitä

Ajoneuvoteknologioiden osalta tilanne on vastaava kuin energian varastoinnin
kohdalla eli dieselmääräiset moottorit ovat ylivoimaisesti helpoin ja joustavin

vaihtoehto raskaan liikenteen ajoneuvoissa. Dieselmoottoreita voidaan käyttää perinteisellä dieselpolttoaineella sekä ilman teknisiä ongelmia 100%:lla biopolttoainevaihtoehtoilla, uusiutuvalla dieselillä (HVO) ja tietyin varauksin myös perinteisellä biodieselillä (FAME).

Kipinäsytytyksellä varustetut raskaat kaasumoottorit sen sijaan tarvitsevat kaasua toimiakseen eikä varapolttoainemahdollisuuksia ole. Uusin dual-fuel tekniikka, suoraruiskutteinen HPDI, vaatii niin ikään aina kaasua toimiakseen. Kaasun sytyttämiseen käytettävä pilot-diesel on määrältään niin pientä, ettei se riitä auton liikuttamiseen.

Jotta ajoneuvot pysyisivät liikenteessä poikkeustilanteissa, polttoaineiden lisäksi tarvitaan erilaisia nesteitä, esimerkiksi voiteluaineita ja urealiuosta (Ad-Blue). Lisäksi huolto- ja korjaamotoiminta tulisi turvata kaikissa tilanteissa. Varaosien osalta kehitys on huoltovarmuuden osalta mennyt huonompaan suuntaan. Trendinä on ollut pienentää paikallisia varastoja ja keskittää varaosat suuriin, usein Euroopassa sijaitseviin varaosakeskuksiin. Näissä tilanteissa varaosien saanti on usein kiinni lentorahdin toiminnasta.

Raskaan kaluston moottorit ja niiden säätöjärjestelmät ovat monimutkaistuneet merkittävästi viime vuosien aikana. Uusissa ruiskutusjärjestelmissä käytettävät korkeat ruiskutuspainet ja pienet ruiskutuslaitteiden toleranssit asettavat tarkkoja vaatimuksia polttoaineen puhtaudelle, koska kiintoainehiukkasten muodossa olevat epäpuhtaudet tuhoavat ruiskutuslaitteet nopeasti.

Euro IV määräysten myötä käyttöön tuli myös itsediagnoosijärjestelmiä (on-board diagnostics, OBD), joiden vaatimukset kiristyvät jatkuvasti (ICCT, 2015). OBD-järjestelmien tehtävänä on mm. varmistaa, että pakokaasujen puhdistuslaitteet toimivat suunnitellusti. Järjestelmät sisältävät suuren määrän antureita ja erilaisia laskenta-algoritmeja. Euro VI OBD järjestelmissä vikatilanteisiin reagointi tapahtuu portaittain kolmessa vaiheessa: 1) kuljettajaa informoidaan vikavalon avulla, 2) moottorin vääntömomenttia rajoitetaan 25% ja 3) ajoneuvon nopeus rajoitetaan 20 km/h. Jos esim. SCR-katalysaattorijärjestelmän tarvitsema urea loppuu, tämä voi siis ääritilanteessa johtaa siihen, että auto liikkuu enää 20 km/h. Sama pätee erilaisiin anturihäiriöihin. Poikkeustilanteissa olisi siis erityisen tärkeää, etteivät raskaat ajoneuvot pysähtyisi esimerkiksi urean loppumisen tai jäätyamisen takia.

Auto- ja moottorivalmistajilla on kuitenkin mahdollisuus ohittaa OBD-järjestelmä, mutta liikennöinti ohitetulla OBD-järjestelmällä ei ole normaalitapauksessa laillista. Kriittisten raskaiden ajoneuvojen osalta olisi siis hyvä etukäteen

selvittää, miten OBD-järjestelmät saadaan tarvittaessa ohitettua poikkeustilanteita ajatellen.

Uudet ajoneuvot on jo useimmiten kytketty verkkoon, ja valmistajat tekevät ohjelmapäivityksiä automaattisesti verkon kautta. Verkkokytkentöihin liittyy kuitenkin aina turvallisuusriski, jos ulkopuolinen taho murtautuisi järjestelmiin ja esimerkiksi pysäyttäisi tietyt raskaat ajoneuvot tuhoamalla moottoriohjauksen ohjelmistot.

Euro III tasoissa ja vanhemmissa autoissa ei ole OBD-järjestelmiä. Lisäksi näissä autoluokissa käytetty tekniikka on yleisestikin yksinkertaisempaa nyky-autoihin verrattuna, minkä vuoksi vanha dieselkalusto on käytännössä toimintavarmempaa kuin uusi kalusto. Koska vanhojen autojen rahallinen arvo on pieni, huoltovarmuuden kannalta kannattaisi selvittää, olisiko esim. parhaimpien Euro III tasoisten autojen "varmuusvarastoinnissa" mahdollisesti järkeä.

6.6 Epävarmuustekijät

Kuten kaikkiin tulevaisuuden skenaarioihin, myös tässä työssä esitettyihin liikenteen käyttövoimien kehitysskenaarioiden toteutumiseen ja siten myös Huoltovarmuuskeskukselle asetettuihin tulevaisuuden vaatimuksiin liittyy paljon epävarmuuksia. Käyttövoimien kehitys ja sen ympärillä käytävä keskustelu on hyvin poliittislähtöistä ja jopa ideologiapohjaista, jolloin teknologianäkökulma ja kustannustehokkuus jäävät usein toissijaisiksi kriteereiksi. Työryhmä uskoo, että käyttövoimien kehitystä suunniteltaessa poliittinen ja sosiaalinen hyväksyttävyys tulee vahvistamaan asemaansa entisestään. Tämä heikentää käyttövoimien kehityksen ennustettavuutta merkittävästi ja siten asettaa haasteita määrittää tarkasti, kuinka paljon eri polttoainelaatuja tarvitsee varastoida valtion varmuusvarastoissa tulevaisuudessa.

Vaikka käyttövoimien kehittämisessä olisi poliittinen tahtotila, kehitysvauhtiin ja tavoitteiden saavuttamiseen vaikuttavat kuitenkin merkittävästi tavoitteiden tueksi asetetut ohjauskeinot ja niiden vaikuttamisnopeus. Energian kuluusta laskevien ohjauskeinojen, kuten kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen edistämiskeinojen, vaikuttavuutta on kuitenkin hyvin vaikea arvioida. Työryhmän mielestä nämä ohjauskeinot ovat kustannustehokkuudeltaan melko heikkoja ja niiden päästövähennysvaikutukset ovat suurusluokaltaan muutamia tuhansia CO₂-tonneja, kun taas biopolttoaineiden käytön lisäämisellä päästövähennykset ovat satoja tuhansia CO₂-tonneja. Suomessa on asetettu jakeluvelvoite uusiutuvien polttoaineiden lisäämiseksi liikenteessä, jonka nähdään olevan yksi vaikuttavista ja selkeistä ohjauskeinoista. Jakeluvelvoite on määrätty

laissa, ja siten uusiutuvien polttoaineiden määrän odotetaan lisääntyvän liikenteessä vähintään lakisääteisen jakeluvelvoitteen mukaisesti vuoteen 2030.

Teknologian kehittyminen, kuten sähköistymisen sekä kaluston uusiutumisen nopeus, vaikuttavat myös merkittävästi varmuusvarastoitavien polttoaineiden määrään tulevaisuudessa. Liikenteen sähköistymisen vauhdin määrittää suurelta osin ajoneuvovalmistajille asetetut CO₂-päästörajat ja näiden määritelmien muutokset sekä akkutuotannon valmius vastata nopeasti kasvavaan kysyntään. Toistaiseksi sähköautojen ja niiden yleistymisen suurin este on ollut sähköautojen korkeat myyntihinnat ja niiden lyhyt toimintasäde yhdellä latauksella verrattuna perinteisiin polttomoottoreihin. CO₂-päästörajoiden merkittävä kiristyminen voisi vauhdittaa nollapäästöisten sähköautojen käyttöönottoa, koska autovalmistajille asetetut CO₂-päästörajat vaikuttavat autojen jälleenmyyntihintaan. Kaasuautokaluston kehittymisnopeus sen sijaan määrittelee suurelta osin, kuinka paljon kaasu lisääntyy liikenteessä tulevaisuudessa. Tarkasteltujen skenaarioiden mukaan kaasun kulutuksen nähtäisiin lisääntyvän ensisijaisesti raskaassa autokalustossa, kun taas henkilöautoissa ja työkoneissa kulutuksen kehitys ei tulisi olemaan niin voimakasta.

Liikenteen käyttövoimien kehitykseen vaikuttaa myös taloudellisen aktiivisuuden kehittyminen sekä muutokset polttoaineiden ja ajoneuvojen verotuksessa. Teollisuuden muutokset ja kasvurakenne tulevat osaltaan vaikuttamaan ajosuoritteisiin ja sitä kautta energian kulutukseen. Verotusmuutokset voisivat joko ohjata kuluttajia vähäpäästöisempiin polttoaineisiin ja ajoneuvoihin tai kannustaa valitsemaan edullisimman ajoneuvovaihtoedon vaikuttaen siten käyttövoimien kehitykseen.

7 Huoltovarmuuden mahdollisuudet ja suositukset jatkotoimenpiteistä

Liikenteen ja koko yhteiskunnan sähköistyessä huoltovarmuuden tulisi laajentua liikenteen ja lämmityksen huoltovarmuudesta logistiikkaketjujen, sähköjärjestelmien ja kriittisen vesiliikenteen varmistamiseen. Fossiilisten polttoaineiden kulutuksen laskiessa liikenteessä, nykyisiä fossiilisten polttoaineiden varmuusvarastoja voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kriittisen meriliikenteen ja sähkön jakelun toiminnan varmistamiseen. Jotta huoltovarmuuskeskuksen polttoaineiden varmuusvarastointimäärät voitaisiin säilyttää, huoltovarmuuskeskuksen varastointivelvoitteen aikamäärittelyn kasvattamista suositellaan (tieliikenteen osalta 5 kk perusurassa, 10 kk WAM-skenaariossa vuonna 2040). Vaihtoehtona olisi myös arvioida varastointimäärät myytyjen tai liikennesektorilla kuluviin polttoainemäärien kautta eikä tuontipolttoaineisiin perustuen. Uusiutuvien nestemäisten polttoaineiden kasvavaan kulutukseen ja siten niiden varmuusvarastointitarpeeseen tulee valmistautua polttoaineiden varastointikestävyyden kokeellisilla tutkimuksilla myös kalliovarastoissa. Kaasun lisääntyvään liikennekäyttöön liittyy vielä paljon epävarmuuksia, mutta liikennekaasun käyttö voitaisiin turvata kotimaisella tuotannolla ja LNG-varastoilla. Huoltovarmuuskeskuksen tulisi seurata kaasun liikennekäytön kehittymistä ja nykyisen velvoitevarastoinnin riittävyyttä.

Tässä luvussa esitetään yhteenveto käyttövoimien kehityksen vaikutuksista ja sen aiheuttamista haasteista huoltovarmuuteen sekä mahdollisuudet ja suositukset, miten näihin muutoksiin voitaisiin varautua tulevaisuudessa (taulukko 8). Polttoaineiden kulutus liikenteessä tulee vähenemään tulevaisuudessa. Nykylain mukaiset valtion varmuusvarastoinnin (5 kk kulutus) tarpeet tulevat tipumaan noin 30-65% eli noin 500 ktoe perusskenaariossa ja noin 1 Mtoe WAM-skenaariossa vuoteen 2040. Kulutuksen väheneminen voi johtaa siihen, että fossiilisten polttoaineiden varmuusvarastot voivat olla tarpeettoman suuret. Kulutusmuutosten lisäksi fossiilisten polttoaineiden markkinalaatujen kehittyminen voi johtaa siihen, että varmuusvarastoitu fossiilinen polttoaine ei välttämättä ole laadullisesti enää markkinakelpoista 10-20 vuoden kuluttua, vaikka tekniseltä käytettävyydeltään polttoaine olisikin vielä moitteetonta.

Taulukko 8 Varmuusvarastoinnin haasteet ja mahdollisuudet tulevaisuudessa

	Haasteet	Mahdollisuudet/Ratkaisuehdotukset
Fossiiliset polttoaineet	- Fossiilisten polttoaineiden tarve pienenee tulevaisuudessa ja siten varmuusvarastot voivat olla tarpeettoman suuret - Tänään varastoitu fossiilinen keskitisle ei välttämättä ole laadullisesti hyvää markkinamielessä 20 vuoden kuluttua, vaikka polttoaine teknisessä mielessä olisi moitteetonta (Varastoidut laadut ja markkinalaadut erkaantuvat toisistaan)	- Varastointi tehdään tieliikenteen polttoainenormien ehdoilla - Normaalitilanteessa varastojen purku suunnataan ensisijaisesti tieliikenteeseen ja työkoneisiin - Kasvattamalla HVK:n varastointivoitetta ylläpidettäisiin velvoitteita nykyvolyyymeille (5 kk perusurassa, 10 kk WAM-skenaariossa vuonna 2040) - Kriisitilanteissa "vapautuvia" varastovolyyymeilla voitaisiin turvata ulkomaan vesiliikenteen ja lisääntyvien varavoi-makoneiden polttoainehuoltoa
Nestemäiset uusiutuvat polttoaineet	- Varastointivarmuus (FAMEa sisältävät polttoaineet ei sovellu pitkäaikaisvarastoihin) - Varastointikustannukset 2030-luvulla uusiutuvien keskitisleiden osuus liikenteessä on jo merkittävä, joten varastointiin on varauduttava	- Varastoinnin tutkiminen kokeellisesti - Varastojen kiertonopeuden lisääminen
Kaasu	LVM:n visio biometaanin merkittävästä kasvusta raskaassa ajoneuvokalustossa → raskaat kaasuauto vaativat kaasun toimiakseen	- Kotimainen tuotanto voisi taata kaasun saatavuutta - Lisäksi LNG:n varastot voitaisiin kriisitilanteessa suunnata tieliikenteeseen, koska laivoissa käytettävät dual-fuel koneet antavat 100 %:n tehon myös dieselpolttoaineella
Sähkö	- Sähköajoneuvojen toiminnan turvaaminen tulee olemaan kriisitilanteissa haasteellista - Sisävesiliikenteen toimintojen mahdollinen sähköistäminen	- Mietittävä tarkoin, mitä ajoneuvoja ja toimintoja ei tulisi sähköistää, ja toisaalta, mitkä ovat ne sähköajoneuvot, joiden toiminta tulisi aina turvata - Maasähkön käyttö laivoissa lisääntyy päästöjen vähentämiseksi → voisivatko laivat kriisitilanteessa turvata/paikata satamatoimintojen ja lähiympäristöjen sähkön tarvetta

Vaikka fossiilisten polttoaineiden kulutusmäärät tulevat laskemaan, valtion varmuusvarastojen suuruutta ei kannata määritellä ainoastaan tieliikenteen kulutuksen mukaan. Huoltovarmuuden kannalta olisi olennaista miettiä uudestaan, mihin nykyisiin ja uusiin käyttökohteisiin fossiilisia polttoaineita tarvitaan tulevaisuudessa ja kuinka suuria määriä. Varastoinnissa tulisi harkita esimerkiksi, voitaisiinko olemassa olevia polttoainevarastoja ja -kapasiteettia käyttää myös työkoneiden, meriliikenteen ja sähköajoneuvojen huoltovarmuuden parantamiseen. Polttoaineiden varastointi tulisi tehdä tieliikenteen polttoainelaatustandardeihin perustuen. Esimerkiksi dieselin osalta varastointi tehtäisiin käytännössä katsoen EN 590 standardiin perustuen, jolloin diesel soveltuisi laadultaan työkoneiden ja vesiliikenteen polttoaineeksi. Normaalitilanteessa polttoainevarastoja käytettäisiin ensisijaisesti tieliikenteessä ja työkoneissa. Kriisitilanteissa kuten sähkön jakelukeskeytyksien aikana fossiilisia polttoaineita voitaisiin ohjata valtion varmuusvarastoista varavoi-makoneiden ylläpitämiseen ja ulkomaan vesiliikenteen turvaamiseen.

Työryhmä näkee, että nykyiset fossiilisten polttoaineiden varastointikapasiteetit tulisi kustannustehokkuuden näkökulmasta säilyttää, ja siten tulisi harkita huoltovarmuuskeskuksen varastointivelvoitteen kasvattamista. Kuten luvussa 6.4 todettiin, huoltovarmuuskeskuksen varastointivelvoitteen aikamäärettä tulisi korottaa nykyisestä kolmesta kuukaudesta yli viiteen kuukauteen perusurassa ja yli 10 kuukauteen WAM-skenaariossa vuonna 2040.

Vaihtoehtoinen tapa säilyttää nykyinen polttoaineiden varastointikapasiteetti olisi muuttaa velvoitemäärien laskentajärjestelmää. Nykyinen fossiilisten polttoaineiden tuontiin perustuva velvoitevarastointi ei huomioi liikenteen energiankäytön muutoksia. Täten tulisi pohtia velvoitemäärien laskemista myytyjen tai liikennesektorilla kuluvien polttoainemäärien kautta, jolloin huomioitaisiin myös uusiutuvat polttoaineet ja kotimaiset energialähteet. Todelliseen myyntiin tai kulutukseen perustuva velvoitejärjestelmä pystyisi seuraamaan tehokkaasti ja joustavasti markkinassa tapahtuvia muutoksia. Tällä järjestelmällä velvoitemäärät todennäköisesti ylittäisivät tuontipolttoaineisiin perustuvat velvoitemäärät.

Fossiilisten polttoaineiden kulutuksen vähentyessä ja liikenteen sähköistymisen myötä nestemäisten uusiutuvien polttoaineiden absoluuttiset kulutusmäärät tulevat kasvamaan vuoteen 2030 saakka, mutta sen jälkeen absoluuttisten määrien oletetaan pysyvän melko vakioina perusurassa. Vaikka absoluuttiset määrät pysyvät vakiona, nestemäisten uusiutuvien polttoaineiden suhteellinen osuus liikenteessä kuitenkin kasvaa. Polttoainemarkkinoilla uusiutuvien polttoaineiden osuus kasvaa 30-50 %:iin ja lisäksi markkinoilla tulee olemaan 100% biokaasulla tai HVO-tyyppisillä polttonesteillä toimivia käyttöjärjestelmiä. Näiden muutoksien myötä huoltovarmuuskeskuksen olisi valmistauduttava uusiutuvien nestemäisten polttoaineiden kuten HVO:n ja sähköpolttoaineiden varmuusvarastointiin tulevaisuudessa.

Uusiutuvien nestemäisten polttoaineiden varastoinnin haasteita ovat muun muassa polttoaineiden varastointivarmuus. Kuten luvussa 6.3 esitettiin, bioetanoli ja perinteiset rasvahappopohjaiset polttoaineet kuten FAME eivät välttämättä sovellu hyvin pitkäaikaisvarastointiin, vaan niiden varastointikestävyys voi olla hyvin erilainen kuin fossiilisilla polttoaineilla. Tulevaisuudessa suurin osa Suomen tieliikenteen uusiutuvista nestemäisistä polttoaineista tulee kuitenkin olemaan hiilivetypohjaisia polttoaineita kuten HVO:ta, jonka varastointiominaisuudet ovat lähellä fossiilisia polttoaineita. Jotta uusiutuvien nestemäisten polttoaineita voidaan varmuusvarastoida tulevaisuudessa ja niiden varastointikestävyys olisi taattu, työryhmä suosittelee uusiutuvien nestemäisten polttoaineiden varastoinnin kokeellista tutkimista (myös kalliovarastoissa)

seuraavien vuosien aikana. Varastointikestävyyttä voitaisiin mahdollisesti parantaa myös varaston kiertonopeuden säätelyllä, joka voitaisiin taata huoltovarmuuskeskuksen varmuusvarastojen hyvällä kiertosuunnittelulla.

Kaasun käytön lisääntymiseen liikenteessä liittyy paljon epävarmuuksia. Liikenne- ja viestintäministeriön WAM-skenaarion mukaan biometaanin kulutus tulisi merkittävästi kasvamaan erityisesti tieliikenteen raskaassa ajoneuvokalustossa. Vesiliikenteessä biopohjaisten kaasujen osuus sen sijaan tulee olemaan melko vähäistä vielä seuraavat vuodet, koska Suomella ei ole IMO- ja EU-tavoitteiden lisäksi kansallista tavoitetta meri- ja sisävesiliikenteen päästöjen vähentämiseksi.

Kotimainen biometaanin tuotanto voisi taata biometaanin saatavuuden raskaalle ajoneuvokalustolle tulevaisuudessa, koska tuotanto ei olisi riippuvainen tuonnin häiriötilanteista. Lisäksi vesiliikenteessä käytetty nesteytetty kaasu (LNG, liquified natural gas) voitaisiin kriisitilanteessa suunnata tieliikenteeseen. Tällainen huoltovarmuustoiminta olisi mahdollista, koska laivoissa käytettävillä dual-fuel koneilla saavutetaan 100% tehon käyttö myös pelkällä dieselpolttoaineella.

Työryhmän mielestä Huoltovarmuuskeskuksen tulisi seurata kaasun liikennekäytön kehittymistä ja nykyisen velvoitevarastoinnin riittävyyttä. Kehittymisen seurannalla Huoltovarmuuskeskus voisi suunnitella tarkemmin todelliset varmuusvarastoinnin tarpeet ja mahdollisuudet kaasun varastoinnille.

Liikenteen ja koko yhteiskunnan laajamittainen sähköistyminen tulee olemaan yksi suurimmista huoltovarmuuteen vaikuttavista muutoksista tulevaisuudessa. Työryhmä näkee, että huoltovarmuuden tulisi laajentua liikenteen ja lämmityksen huoltovarmuudesta logistiikkaketjujen, sähköjärjestelmien ja kriittisen vesiliikenteen varmistamiseen.

Sähköajoneuvojen toiminnan turvaaminen tulee olemaan kriisitilanteissa haasteellista. Sähköisen liikenteen kasvun myötä latauskapasiteetin huoltovarmuutta parannetaan mahdollisesti sähköverkon toimintavarmuuden parannuksilla tai alueellisilla erikoisratkaisuilla. Ellei sähkön jakeluhäiriöitä pystytä hallitsemaan ja välttämään sähköjärjestelmän varmistuksella tai akkuvarastoilla, varavoiman tarve poikkeustilanteissa tulee kasvamaan merkittävästi tulevaisuudessa. Huoltovarmuuskeskuksen rooli tulee olemaan merkittävä erityisesti varavoimakoneiden kuten aggregaattien ja generaattoreiden polttoainehuollon ylläpitämisessä.

Huoltovarmuuskäytännöstä Suomessa tulisi myös tarkoin miettiä, mitkä ajoneuvoluokat tulisi sähköistää ja toisaalta mitkä ovat kriittisiä ajoneuvoluokkia, joiden toiminta tulisi turvata myös poikkeustilanteissa esim. aggregaattien avulla tai pitämällä osa kalustosta polttomoottorikäyttöisenä. Huoltovarmuuden kannalta kriittisiä olisivat esimerkiksi hälytysajoneuvot ja kriittiset tavarakuljetukset.

Laivojen sähköntuotannon hyödyntäminen voisi olla myös yksi sähkön jakelun Huoltovarmuuskeinoista poikkeustilanteissa. Kansainväliset maasähköstandardin määräykset, jota ollaan toteuttamassa meriliikenteessä, eivät turvallisuussyistä salli sähkön syöttämistä laivasta satamaan ja lähiympäristöön näiden maatoimintojen ylläpitämiseksi. Pienin teknisin muutoksin satamien maasähköjärjestelmien hyödyntäminen olisi kuitenkin mahdollista toteuttaa. Maasähkön käyttöä tullaan laivoissa todennäköisesti kasvattamaan päästöjen vähentämiseksi satamissa, jolloin laivojen sähköntuotantokapasiteetti voitaisiin hyödyntää kriisitilanteissa satamatoimintojen ja lähiympäristön sähkön tarpeen turvaamiseksi.

Suomen maantieteellisen sijainnin vuoksi huoltovarmuudessa ja varautumisessa painotetaan myös välttämättömien ympärivuotisten merikuljetusten sekä satamien ja niiden toimintaa tukevien verkostojen toimivuutta. Tieliikenteen polttoainemäärien pienentyessä tulevaisuudessa, näihin meriliikenteen häiriötilanteisiin voitaisiin varautua nykyisellä varmuusvarastointikapasiteetilla

Työryhmä suosittelee, että Huoltovarmuuskeskuksen tulisi lähivuosina suunnitella tarkoin, miten liikenteen ja työkonien sähköistymiseen tullaan varautumaan ja miten sähköistyminen huomioidaan huoltovarmuudessa. Koska varmuusvarastoitavien polttoaineiden käyttökohteet voivat laajentua tulevaisuudessa esimerkiksi liikennesähkön varmistamiseen, nykyinen Huoltovarmuuskeskuksen kustannustehokas varmuusvarastointikapasiteetti tulisi säilyttää huoltovarmuuden takaamiseksi.

8 Johtopäätökset

Liikenteen käyttövoimien kehitystä ajaa tavoite vähentää liikenteen kasvihuonepäästöjä, etenkin CO₂-päästöjä. Liikenteen päästöjen vähentämistä pyritään ohjaamaan ajoneuvojen CO₂-päästörajoilla ja polttoaineiden laatustandardeilla sekä lukuisilla liikenteeseen ja energian käyttöön vaikuttavilla direktiiveillä, sopimuksilla ja ohjauskeinoilla.

Liikenteen käyttövoimien ennustetaan muuttuvan merkittävimmin tieliikenteessä, jossa tulevaisuuden energiavaihtoehtoja on huomattavasti enemmän kuin vesiliikenteessä ja työkoneissa. Tieliikenteen energiankulutuksen oletetaan laskevan perusennusteen mukaan jopa 25 % vuoteen 2040 samalla kun uusiutuvien polttoaineiden ja sähkön kulutus kasvaa. Sähköajoneuvojen kehitymis- ja käyttöönottonopeus määrittävät pitkälti polttoaineiden määrätarpeet tulevaisuudessa. Työssä tarkastellun perusennusteen (perusura) pohjalta uusiutuvien polttoaineiden absoluuttinen kulutus kasvaa vuoteen 2030, jonka jälkeen liikenteen sähköistyminen laskee uusiutuvien polttoaineiden tarvetta. Vuoden 2030 jälkeen uusiutuvien polttoaineiden absoluuttiset kulutusmäärät tulevat pysymään melko vakiona, mutta niiden suhteellinen osuus tieliikenteen käyttövoimista kasvaa kokonaiskulutuksen laskiessa. Oletusarvoisesti ruokapohjaiset biopolttoaineet poistuvat vuoden 2030 jälkeen tieliikenteestä EU:n asettamien kestävyyskriteereiden vuoksi. Täten suurin osa tieliikenteen uusiutuvista nestemäisistä polttoaineista tulevat pohjautumaan ei-ruokapohjaisiin drop-in hiilivetypolttoaineisiin kuten HVO:hon. Sähköpolttoaineiden ja muiden synteettisten polttoaineiden määrän oletetaan kasvavan tulevaisuudessa, jotka ovat laadultaan lähellä HVO-polttoaineita. Kaasukäyttöisten ajoneuvokaluston kehittymiseen ja siten kaasun kulutusmääriin liikenteessä liittyy suuria epävarmuuksia.

Työkoneiden ja vesiliikenteen käyttövoimien ei nähdä kehittyvän merkittävästi vuoteen 2040, jos markkinoilla ei tapahdu suuria muutoksia kuten liikenteen sisällyttämistä CO₂-päästökaupan piiriin. Työkoneissa diesel tulee olemaan pääasiallinen käyttövoima vielä pitkään, vaikka rajatuissa kohteissa kuten satamissa ja muissa logistiikkakeskuksissa sähkökalustoa voidaan ottaa jossain määrin käyttöön. Vesiliikenteen käyttövoimien tulevaisuuden ennusteissa sen sijaan on lukuisia vaihtoehtoja, mutta käytännössä diesel ja kaasua hyödyntävät dual-fuel koneet ovat pääasialliset käyttövoimat lähitulevaisuudessakin. Laivoissa käytettävät dual-fuel koneet saavuttavat 100% tehon, vaikka polttoaineena käytettäisiin pelkästään dieselä.

Muutokset liikenteen käyttövoimien kehityksessä luovat uusia vaatimuksia polttoaineiden varmuusvarastoinnille. Skenaarioanalyysien pohjalta Huoltovarmuuskeskuksen tulee erityisesti varautua tulevaisuudessa uusiutuvien nestemäisten polttoaineiden, lähinnä uusiutuvan dieselin (HVO), varmuusvarastointiin sekä varastoida riittävä määrä fossiilisia polttoaineita, joilla voidaan turvata sähkön jakelun häiriötilanteissa varavoimakoneiden toiminta. Kansallisissa tavoitteissa kaasukäyttöisille ajoneuvoille, erityisesti raskaalle kalustolle, on asetettu merkittäviä tavoitteita, mutta niiden kehitystä ja sen vaikutusta Huoltovarmuuskeskuksen toimintaan on vaikea määrittää tässä vaiheessa.

Varmuusvarastoitavien polttoaineiden määrät tulevaisuudessa voivat vaihdella merkittävästi riippuen siitä, miten liikenteen käyttövoimat todellisuudessa kehittyvät. Työryhmä uskoo, että liikenteen käyttövoimien kehitys tulee todennäköisesti toteutumaan kahden työssä tarkastellun liikenne- ja viestintäministeriön pääskenaarion, perusuran ja WAM-skenaarion, välimaastossa. Skenaarioanalyysin tuloksiin perustuen valtion varmuusvarastoissa varastoitavien tieliikenteen polttoainemäärien arvioidaan laskevan vuoden 2020 1 670 ktoe (5 kk kulutusta vastaava) tasosta 1 170 ktoe:hen perusurassa ja 680 ktoe:hen WAM-skenaariossa vuoteen 2040. Varmuusvarastoitavien tieliikenteen polttoaineiden kokonaismäärien arvioidaan siis laskevan perusurassa noin 500 ktoe ja WAM-skenaariossa noin 1 Mtoe. Perusurassa fossiilisten polttoaineiden osuus putoaa 86 %:sta 69 %:iin vuoteen 2040 mennessä ja vastaavasti uusiutuvien tai biopolttoaineiden osuus kasvaa 14 %:sta 31 %:iin. WAM-skenaariossa polttoaineiden osuudet sen sijaan kehittyvät vuoteen 2040 seuraavasti: fossiilisten osuus laskee 86 %:sta 27 %:iin ja uusiutuva/bio kasvaa 14 %:sta 73 %:iin. Valtion varmuusvarastoissa varastoitavista tieliikenteen uusiutuvista polttoaineista uusiutuvan diesel osuus tulee olemaan suurin, perusurassa 87 % ja WAM-skenaariossa 67 %.

Liikenteen käyttövoimien kehitysskenaarioiden toteutumiseen ja siten myös Huoltovarmuuskeskukselle asetettaviin varastointivaatimuksiin liittyy paljon epävarmuuksia. Käyttövoimien kehitys ja sen ympärillä käytävä keskustelu on hyvin poliittislähtöistä ja jopa ideologiapohjaista. Poliittisen ja sosiaalisen hyväksyttävyyden nähdään vahvistavan asemaansa entisestään tulevaisuudessa. Käyttövoimien kehitystä suunniteltaessa tekninen toteutettavuus ja kustannustehokkuus voivat siten jäädä toissijaiseksi, vaikka näiden kahden kriteerin merkitystä on aiemmin korostettu päätöksenteossa. Vaikka käyttövoimien kehittämisessä olisi poliittinen tahtotila, kehitysvauhtiin ja tavoitteiden saavuttamiseen vaikuttavat merkittävästi tavoitteiden tueksi asetetut ohjauskeinot ja niiden vaikuttamisnopeus. Lisäksi käyttövoimien kehitykseen vaikuttavat teknologian kehittyminen ja kaluston uusiutumisenopeus, taloudellisen

aktiivisuuden kehittyminen sekä ajoneuvojen ja polttoaineiden verotuksen muutokset. Edellä esitetyt epävarmuustekijät heikentävät käyttövoimien kehityksen ennustettavuutta merkittävästi ja siten asettavat haasteita määrittää tarkasti, kuinka paljon eri polttoainelaatuja tarvitsee varmuusvarastoida tulevaisuudessa.

Liikenteen käyttövoimien kehityksen ennusteen johtopäätökset sekä Huoltovarmuuskeskukselle suositellut jatkotoimenpiteet ja niihin liittyvät lisäselvitystarpeet on tiivistetty kuvaan 49. Vaikka fossiilisten polttoaineiden kulutus liikenteessä laskee tulevaisuudessa, työryhmä suosittelee huoltovarmuuskeskuksen varastointivelvoitteen keston kasvattamista, jotta polttoaineiden varastointimäärät voitaisiin säilyttää huoltovarmuuskeskuksen varmuusvarastoissa. Vaihtoehtona olisi myös arvioida varmuusvarastoitavat polttoainemäärät myytyjen tai liikennesektorilla kuluvien polttoainemäärien kautta eikä tuontipolttoaineisiin perustuen. Normaalitylanteessa fossiiliset polttoaineet suunnattaisiin ensisijaisesti tieliikenteeseen ja työkoneisiin. Kriisitilanteissa liikenteestä vapautuvia fossiilisia polttoaineita voitaisiin kuitenkin hyödyntää muun muassa sähkön jakelun häiriöissä lisääntyvän varavoimakapasiteetin varmistamiseen ja ulkomaan vesiliikenteen turvaamiseen.

Uusiutuvien nestemäisten polttoaineiden kulutuksen lisääntyessä erityisesti tieliikenteessä, työryhmä suosittelee, että näiden polttoaineiden varmuusvarastointiin valmistaudutaan. Seuraavien vuosien aikana olisi suositeltavaa toteuttaa uusien polttoaineiden varastointikestävyys kokeellisesti sekä miettiä mahdollisuuksia varastoinnin parantamiseksi esimerkiksi varastojen kiertonopeuden säätelyllä.

Kaasupohjaisten käyttövoimien kehittymiseen liittyy paljon epävarmuustekijöitä, mutta tulevaisuudessa tieliikenteen kaasutarpeet voitaisiin turvata kotimaisella biometaanin tuotannolla ja laivaliikenteessä normaalisti käytettävillä LNG-varastoilla. Tässä vaiheessa työryhmä suosittelee lähinnä kaasun liikennekäytön kehittymisen ja nykyisten toimijoiden velvoitevarastoinnin riittävyyden seuraamista.

Liikenteen ja koko yhteiskunnan laajamittainen sähköistyminen tulee olemaan yksi suurimmista huoltovarmuuteen vaikuttavista muutoksista tulevaisuudessa. Työryhmä näkee, että varmuusvarastoitavien polttoaineiden käyttökohteet tulevat laajentumaan tulevaisuudessa liikenteestä ja lämmityksestä myös logistiikkaketjujen, kriittisen vesiliikenteen ja sähköjärjestelmien varmistamiseen, minkä takia Huoltovarmuuskeskuksen nykyinen kustannustehokas varmuusvarastointikapasiteetti tulisi säilyttää huoltovarmuuden takaamiseksi. Li-

kenteen ja työkoneiden huoltovarmuuden lisäksi, lisääntyvän varavoimakapasiteetin huoltovarmuus tulee taata. Näiden toiminnan huoltovarmuuteen tulisi varautua kasvattamalla nestemäisten polttoaineiden suhteellisia varmuusvarastointimääriä ts. varastointivelvoitteen aikamäärettä.

	JOHTOPÄÄTÖS	JATKOTOIMENPITEET	LISÄSELVITYSTARPEET
Fossiiliset polttoaineet	Fossiilisten polttoaineiden määrä laskee liikenteessä	Mitä vapautuvalle varastointikapasiteetille ja -määrille tehdään?	- Valmistellaan HVK:n varastointivelvoitteen kasvattamista tai arviointijärjestelmän uusimista - Selvitetään varavoimakoneiden polttoainetarpeet
Nestemäiset uusiutuvat polttoaineet	Uusiutuvien osuus keskitislessä voi olla jopa 50% vuonna 2040	Uusiutuvien polttoaineiden varastointiin valmistautuminen	Varastointikestävyyden kokeellinen tutkiminen ml. varastointi kalliovarastoissa
Kaasu	LVM:n vision mukaan kaasun käyttö lisääntyy raskaassa liikenteessä	Liikennekaasun turvaaminen kotimaisella tuotannolla ja LNG-varastoilla	Seurataan kaasun liikennekäytön kehittymistä ja nykyisen velvoitevarastoinnin riittävyyttä
Sähkö	Sähköistyminen tulee lisääntymään merkittävästi, ensin tieliikenteessä, jonka jälkeen työkoneissa ja viimeiseksi laivoissa	Sähköisen liikenteen turvaaminen energia- ja varvoimajärjestelmien kautta sähkön jakeluhäiriöiden aikana	- Liikenteen ja työkoneiden huomioiminen sähkön huoltovarmuudessa - Varvoimakoneiden lukumäärän kasvuun varautuminen polttonesteiden varastoinnilla

Kuva 49 Vaihtoehtoisten energialähteiden huoltovarmuus

9 Lähdeluettelo

ACEA. (2020). *Position Paper: Views on proposals for potential Euro 7 emission standard*. European Automobile Manufacturers Association.

Autoalan tiedotuskeskus. (2021a). *Autokannan keski-ikä kehitys*. Autoalan tiedotuskeskus.

Autoalan tiedotuskeskus. (2021b, 28 4). *Ensirekisteröinnit käyttövoimittain*. Retrieved from Tilastot:
https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/kuorma-autojen_kayttovoimatilastot?sort_column=6&sort_direction=0

DNV. (2021, 4 29). *Alternative Fuels Insights*. Retrieved from DNV:
<https://www.dnv.com/services/alternative-fuels-insight-128171>

Euroopan komissio. (2018). *The European Commission's science and knowledge service*. Join Research Centre.

Euroopan komissio. (2020). *EU fuel quality directive: where do we stand?* Euroopan komissio.

Euroopan komissio. (2021a, 4 27). *Heavy-duty vehicles*. Retrieved from European Commission:
https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en

Euroopan komissio. (2021b, 4 27). *Light-duty vehicles*. Retrieved from European Commission:
https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en

Euroopan komissio. (2021c, 5 10). *Reducing emissions from the shipping sector*. Retrieved from European Commission:
https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/shipping_en

Euroopan komissio. (2021d, 05 20). *CO2 emissions from shipping – encouraging the use of low-carbon fuels*. Retrieved from Euroopan komissio: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12312-CO2-emissions-from-shipping-encouraging-the-use-of-low-carbon-fuels_en

Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto. (2009). *Direktiivi 2009/30/EY*. Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto.

Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto. (2014). *Direktiivi 2014/94/EU*. Euroopan unionin virallinen lehti.

- Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto. (2018). *Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/842*. Euroopan unionin virallinen lehti.
- Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto. (2019). *EU 2019/1161*. Euroopan unionin virallinen lehti.
- Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2009). *Raskaiden hyötyajoneuvojen päästöt (Euro VI): sertifiointisäännöt*. Euroopan parlamentti ja neuvosto.
- Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2018). *Direktiivi (EU) 2018/2001*. Euroopan parlamentti ja neuvosto.
- European Committee for Standardization. (2021, 4 15). *European fuel labels*. Retrieved from European Committee for Standardization: <https://www.cen.eu/work/products/Labels/Pages/Fuel.aspx>
- FinFerries. (2021, 4 29). *Liikenneministeri Anne Berner kastoi Suomen ensimmäisen sähkölautan*. Retrieved from FinFerries: <https://www.finferries.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/liikenneministeri-anne-berner-kastoi-suomen-ensimmaisen-sahkolautan.html>
- Happo, M., Hosiokangas, J., Keskitalo, T., & Räsänen, J. (2020). *Tieliikenteen eri käyttövoimien ja polttoaineiden lähipäästöt*. Traficom.
- Huoltovarmuuskeskus. (2021, 4 30). *Sektorit ja poolit*. Retrieved from Huoltovarmuuskeskus: <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/huoltovarmuusorganisaatio/sektorit-ja-poolit>
- ICCT. (2015). *Global overview of non-board diagnostic (OBS) systems for heavy-duty vehicles*. Washington: International Council on Clean Transportation.
- IEA. (2020). *Energy Technology Perspectives 2020*. IEA.
- IEA. (2021a, 5 12). *Technology Collaboration Programme on Advanced Motor Fuels*. Retrieved from IEA: https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/fatty_acid_esters/properties#chemical_structure
- IEA. (2021b, 5 10). *Technology Collaboration Programme on Advanced Motor Fuels*. Retrieved from IEA: https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/ethanol

- IEA. (2021c, 5 10). *Technology Collaboration Programme on Advanced Motor Fuels*. Retrieved from IEA: https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/paraffins
- IMO. (2021a, 2 24). *IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions*. Retrieved from IMO: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>
- IMO. (2021b, 5 10). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. Retrieved from International Maritime Organization: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx#:~:text=The%20International%20Convention%20for%20the,from%20operational%20or%20accidental%20causes.](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx#:~:text=The%20International%20Convention%20for%20the,from%20operational%20or%20accidental%20causes.)
- IMO. (2021c, 5 10). *Reducing greenhouse gas emissions from ships*. Retrieved from International Maritime Organization: [https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx#:~:text=IMO%20has%20adopted%20mandatory%20measures,Efficiency%20Management%20Plan%20\(SEEMP\).](https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx#:~:text=IMO%20has%20adopted%20mandatory%20measures,Efficiency%20Management%20Plan%20(SEEMP).)
- IMO. (2021c, 5 22). *Sulphur oxides (SOx) and Particulate Matter (PM) – Regulation 14*. Retrieved from IMO: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)
- Krause, J., Tsokolis, D., Thiel, C., Samaras, Z., Rota, C., Ward, A., . . . Verhoeve Wim. (2020). *EU road vehicle energy consumption and CO2 emissions by 2050 – Expert-based scenarios*. ENERGY POLICY, ISSN 0301-4215.
- Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä, 446/2007 (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1 1, 2008).
- Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä, 446/2007 (Kauppa- ja teollisuusministeriö 3 29, 2019).
- Laki biopolttoöljyn edistämisestä, 418/2019 (Työ- ja elinkeinoministeriö 4 1, 2019).
- Laki huoltovarmuuden turvaamiseksi, 1390/1992 (Huoltovarmuuslaki 01 01, 1993).

- Laki tuontipolttoaineiden velvoitevarastoinnista, 1070/1994 (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1 1, 1995).
- Lapp, T., Iikkanen, P., Ristikartano, J., Niinikoski, M., Rinta-Piirto, J., & Moilanen, P. (2018). *Valtakunnalliset liikenne-ennusteet, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 57/20187*. Liikennevirasto.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (2017). *Liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkko. Suomen kansallinen ohjelma*. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (2021, 4 14). *Tiedote*. Retrieved from Liikenne- ja viestintäministeriö: <https://www.lvm.fi/en/-/korjattu-tiedote-fossiilittoman-liikenteen-tiekartta-kerasi-349-lausuntoa-1264260>
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (2020). *Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen perusennuste 2020-2050*. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (2021a). *Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen politiikkaskenaario 2020-2050*. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Neste . (2020). *Neste Renewable Diesel Handbook*. Espoo: Neste Corporation.
- Öljy- ja biopolttoaineala ry. (2016). *Polttonesteiden käyttäjän opas*. Öljy- ja biopolttoaineala ry.
- Orre, K. (2021). *Maakuljetuspooli, ajankohtaiskatsaus*. Huoltovarmuusorganisaatio.
- Pellinka, S. (2020, 12 2). *Vuosaaren satamalle laaditaan tiekartta työkonetoiminnan päästövähennyksille*. Retrieved from Helsingin ilmastoteot: <https://helsinginilmastoteot.fi/vuosaaren-satamalle-laaditaan-tiekartta-tyokonetoiminnan-paastovahennyksille/>
- Samaras, Z., Mellios, G., & Hausberger, S. (2020). *Preliminary findings on possible Euro 7 emission limits for LD and HD vehicles*. Online AGVES Meeting.
- Söderena, P., Nylund, N.-o., Pettinen, R., Muona, T., Markkanen, J., Paakkinen, M., . . . Pihlatie, M. (2021). *Selvitys ja tiekartta Vuosaaren sataman työkoneliikenteen päästövähennyksille*. VTT.
- St1. (2021, 5 9). *Dieselin käyttö*. Retrieved from St1: <https://www.st1.fi/yrityksille/tuotteet-ja-palvelut/polttonesteet/dieselit-ja-adblue>

- The association quality management biodiesel e.V. (2021, 4 15). *AGQM biodiesel*. Retrieved from The association quality management biodiesel e.V.: <https://www.agqm-biodiesel.de/en/downloads/approvals>
- Tilastokeskus. (2020). *Liikenteen energiakulutus, 1990-2019*. Helsinki: Tilastokeskus.
- Tilastokeskus. (2020). *Liikenteen energiankulutus (TJ)*. Helsinki: Tilastokeskus.
- Tilastokeskus. (2021). *Sähkön hankinta ja kokonaiskulutus, 1960-2020*. Tilastokeskus.
- Tilastokeskus. (2021). *Varsinaiseen kauppalaivastoon kuului 678 alusta maaliskuussa 2021*. Helsinki: Tilastokeskus.
- Traficom. (2021a). *Ajoneuvokannan tilastot*. Traficom.
- Traficom. (2021b, 5 4). *EU:n lentoliikenteen päästökauppa*. Retrieved from Traficom: <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/ilmailu/eun-lentoliikenteen-paastokauppa>
- Traficom. (2021b). *MERIMA – Suomen kansainvälisten merikuljetusten päästöt-mallit. Tulosraportti 2005-2019*. Traficom.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2016). *Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030*. Työ- ja elinkeinoministeriö.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2020). *Huoltovarmuuskeskuksen tulostavoiteasiakirja vuosille 2021-2024*. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2021, 4 15). *Työ- ja elinkeinoministeriö*. Retrieved from Ilmasto- ja energiastrategia: <https://tem.fi/ilmasto-ja-energiastrategia>
- Valtioneuvosto. (2019). *Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019, Osallistava ja osaava Suomi - sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta*. Helsinki: Valtioneuvosto.
- Valtioneuvosto. (2021). *Fossiilittoman liikenteen tiekartta - luonnos valtioneuvoston periaatepäätökseksi kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä lausuntokierroksella*. Valtioneuvosto.

Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista, 1048/2018 (Työ- ja elinkeinoministeriö 12 05, 2018).

Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista, 1048/2018 (Työ- ja elinkeinoministeriö 12 5, 2018).

VTT. (2019). *LIPASTO, Suomen työkoneiden päästömalli*. VTT, Traficom, LVM, Tilastokeskus, Ympäristöministeriö, Väylävirasto.

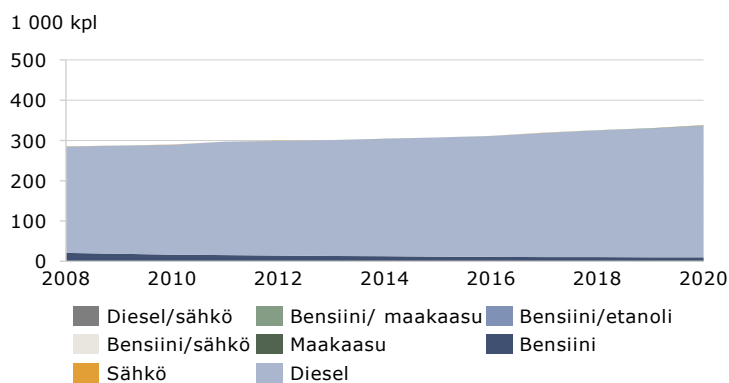
VTT. (2019). *MEERI laskentajärjestelmä*. LIPASTO liikenteen päästöt.

VTT. (2021b). *ALIISA autokantamalli*. Lipasto liikenteen päästöt.

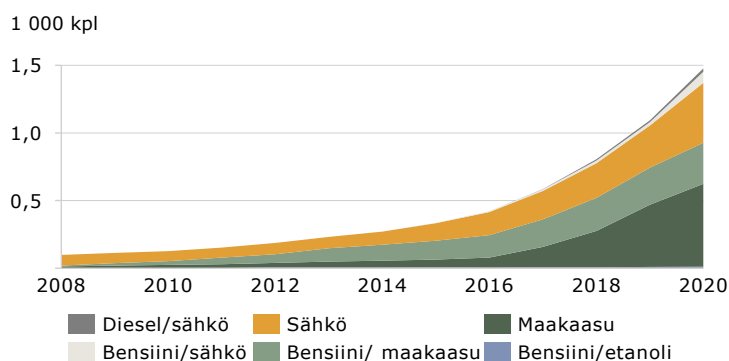
Ympäristöministeriö. (2021, 5 11). *Euroopan unionin ilmastopolitiikka*. Retrieved from Ympäristöministeriö: <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

10 Liitteet

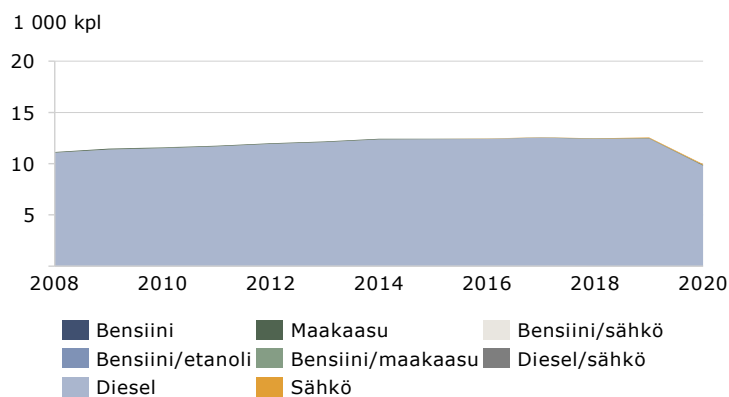
Liite 1 Suomen pakettiautokanta ja linja-autokanta sekä niiden vaihtoehtoiset käyttö-voimat (Traficom, 2021a)



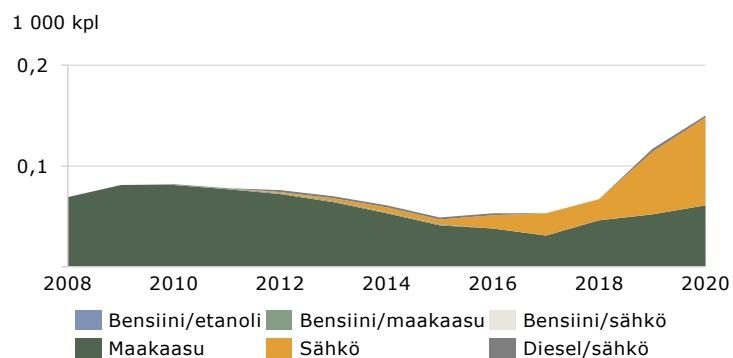
Suomen pakettiautokanta



Suomen pakettiautokanta – vaihtoehtoiset käyttövoimat

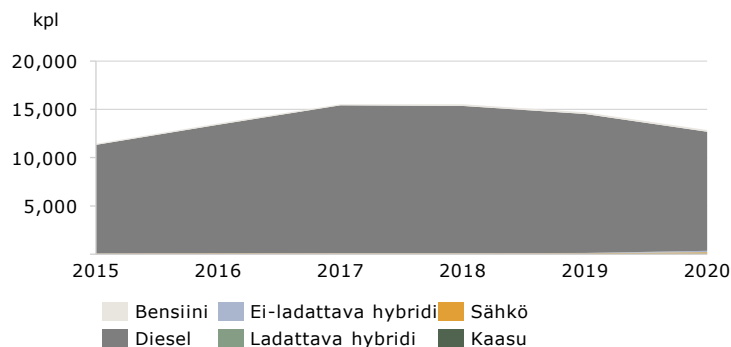


Suomen linja-autokanta

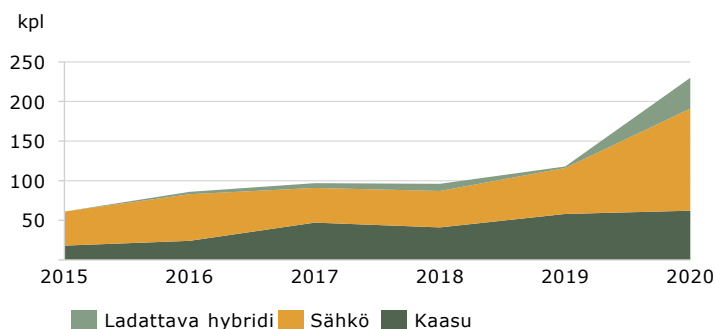


Suomen linja-autokanta – vaihtoehtoiset käyttövoimat

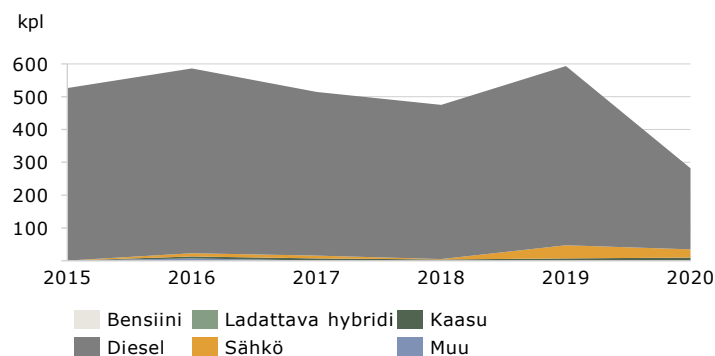
Liite 2 Suomen pakettiautojen ja linja-autojen ensirekisteröinnit sekä vaihtoehtoiset käyttövoimat (Autoalan tiedotuskeskus, 2021b)



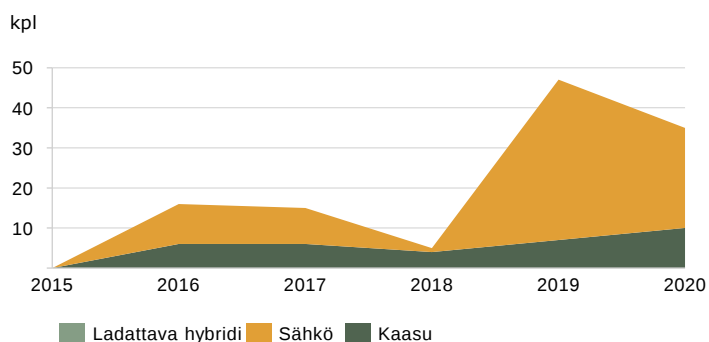
Pakettiautojen ensirekisteröinnit



Pakettiautojen ensirekisteröinnit – vaihtoehtoiset käyttövoimat



Linja-autojen ensirekisteröinnit

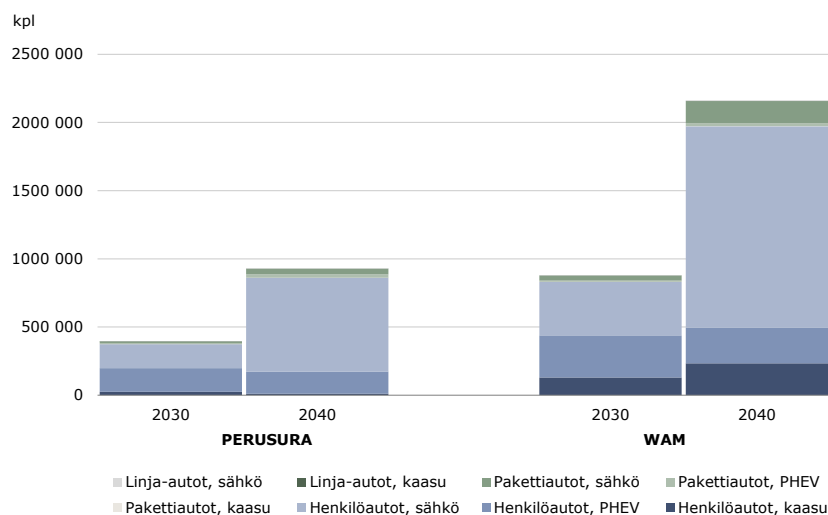


Linja-autojen ensirekisteröinnit – vaihtoehtoiset käyttövoimat

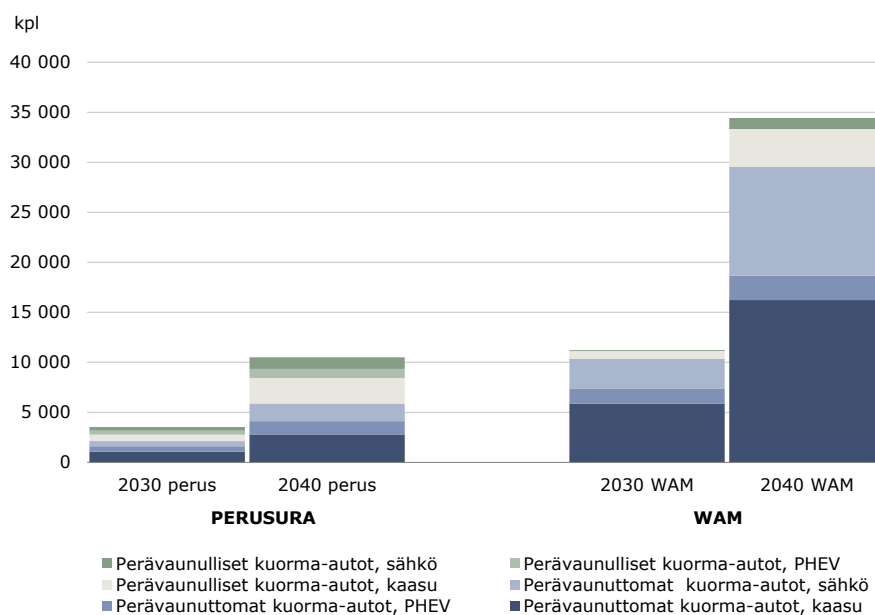
Liite 3 Kaasu- ja henkilöautojen määrät LVM:n perusennusteessa ja WAM skenaariossa

Kappalemäärä	2020	2030 perusura	2040 perusura	2030 WAM	2040 WAM
Henkilöautot, kaasu	0,5 %	0,8 %	0,4 %	4,8 %	8,8 %
Henkilöautot, PHEV	1,2 %	5,9 %	5,5 %	11,4 %	9,8 %
Henkilöautot, sähkö	0,3 %	6,0 %	23,1 %	14,5 %	55,5 %
Pakettiautot, kaasu	0,1 %	0,1 %	0,0 %	0,3 %	0,2 %
Pakettiautot, PHEV	0,1 %	2,5 %	7,6 %	2,9 %	6,8 %
Pakettiautot, sähkö	0,4 %	4,1 %	12,3 %	11,8 %	49,5 %
Linja-autot, kaasu	0,3 %	1,3 %	2,4 %	2,9 %	8,2 %
Linja-autot, sähkö	0,6 %	5,8 %	13,7 %	11,4 %	32,0 %
Perävaunuttomat kuorma-autot, kaasu	0,2 %	1,4 %	3,3 %	7,8 %	20,6 %
Perävaunuttomat kuorma-autot, PHEV	0,0 %	0,7 %	1,6 %	2,0 %	3,1 %
Perävaunuttomat kuorma-autot, sähkö	0,0 %	0,7 %	2,1 %	3,9 %	13,8 %
Perävaunulliset kuorma-autot, kaasu	0,1 %	2,1 %	7,9 %	2,7 %	12,2 %
Perävaunulliset kuorma-autot, PHEV	0,1 %	1,4 %	2,8 %	0,1 %	0,0 %
Perävaunulliset kuorma-autot, sähkö	0,1 %	1,2 %	3,6 %	0,3 %	3,5 %
Kuorma-autot keskimäärin kaasu	0,1 %	1,6 %	4,6 %	6,4 %	18,2 %
Kuorma-autot keskimäärin PHEV	0,1 %	0,9 %	1,9 %	1,4 %	2,2 %
Kuorma-autot keskimäärin sähkö	0,0 %	2,5 %	2,5 %	2,9 %	10,9 %

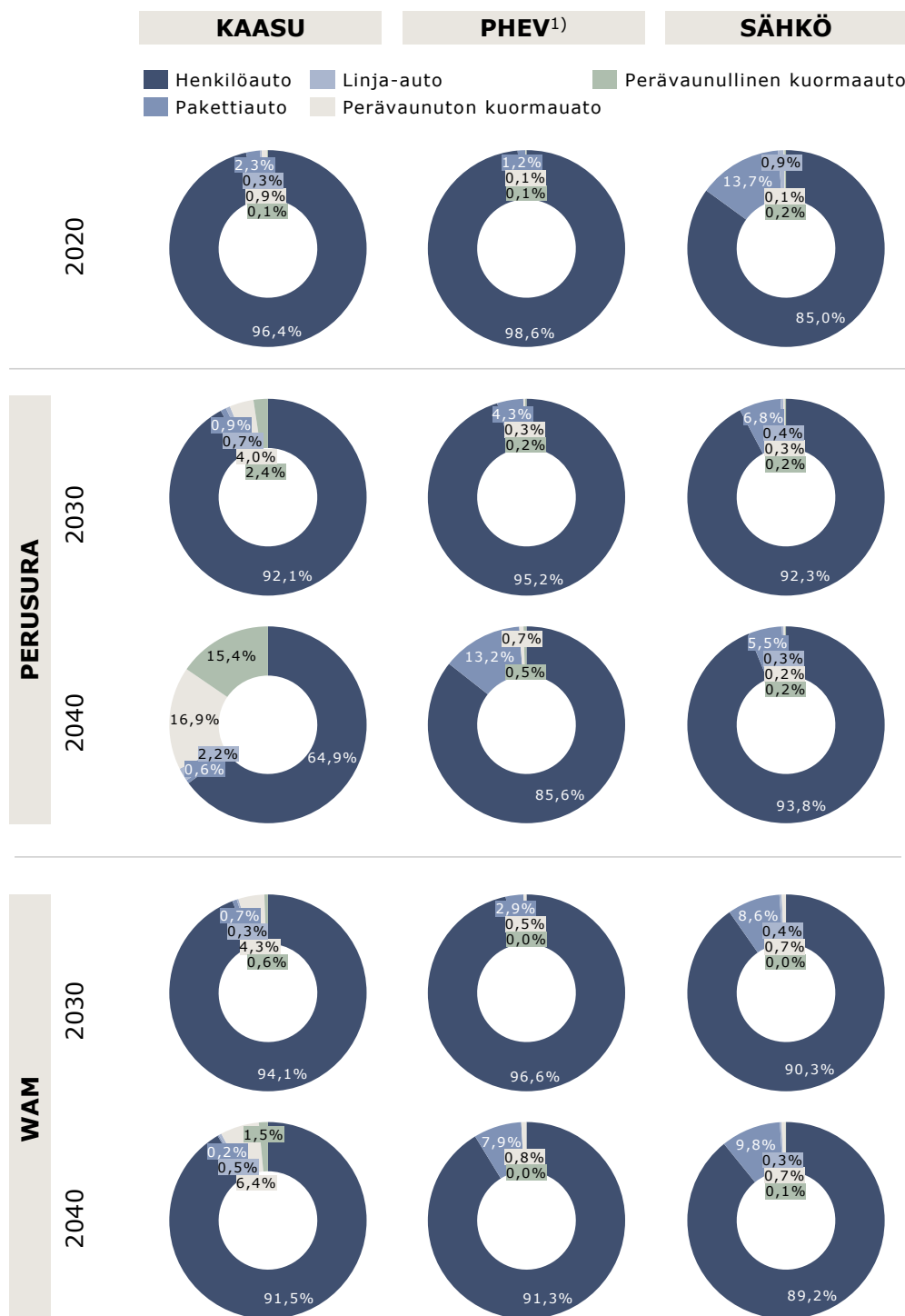
Liite 4 Kaasu- ja sähköajoneuvojen määrät liikenne ja viestintäministeriön perusurassa ja WAM-skenaariossa



Henkilöautojen, linja-autojen ja pakettiautojen kaasu- ja sähköautomäärät perusurassa ja WAM skenaariossa



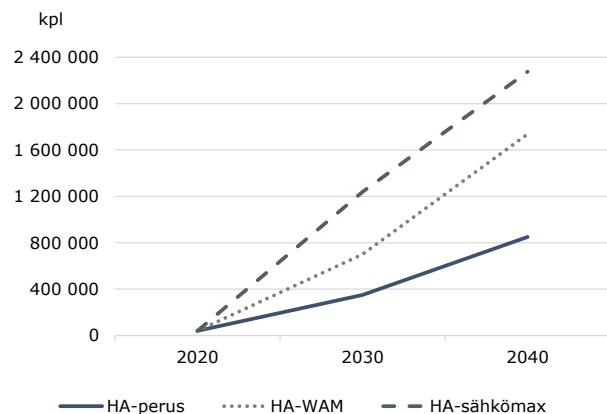
Kuorma-autojen (perävaunulliset ja perävaunuttomat) kaasu- ja sähköautomäärät perusurassa ja WAM skenaariossa



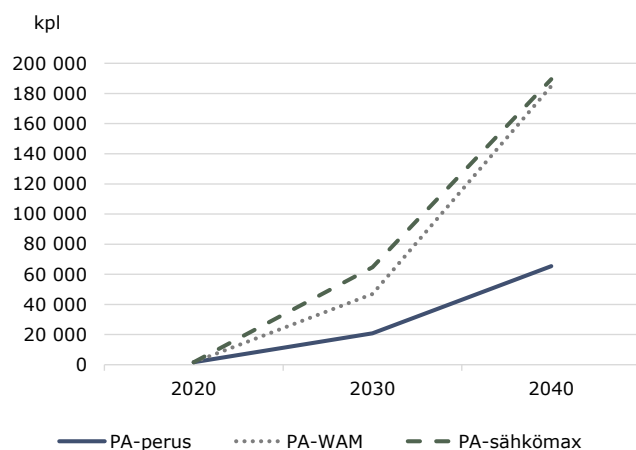
1) Linja-autoille ei saatavilla PHEV tietoa

Kaasu-, PHEV- ja sähköautojen osuuksien vertailu perusurassa ja WAM-skenaariossa

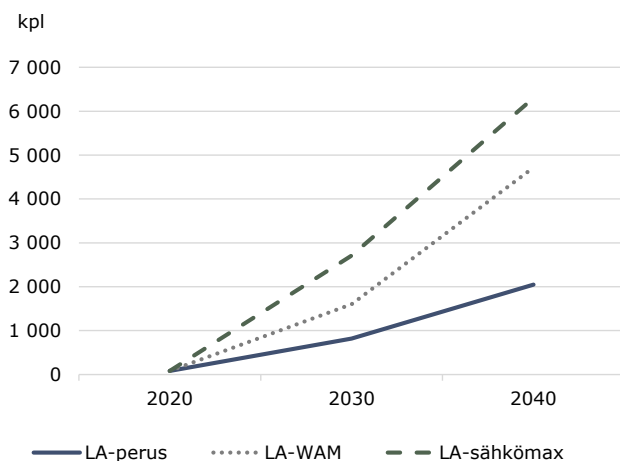
Liite 5 Perusura, WAM skenaario ja sähkömax vertailu eri ajoneuvoille



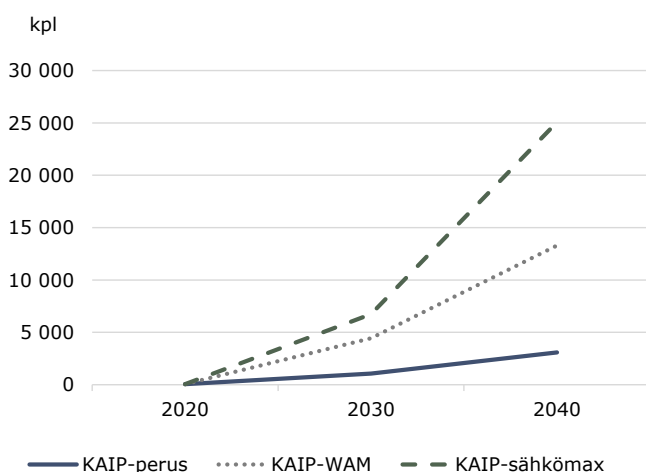
Perusura, WAM skenaario ja sähkömax vertailu henkilöautoille



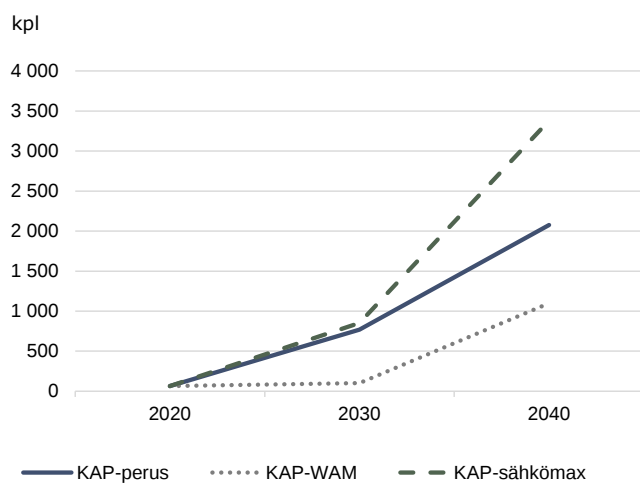
Perusura, WAM skenaario ja sähkömax vertailu pakettiautoille



Perusura, WAM skenaario ja sähkömax vertailu linja-autoille



Perusura, WAM skenaario ja sähkömax vertailu kuorma-autoille ilman perävaunua



Perusura, WAM skenaario ja sähkömax vertailu kuorma-autoille perävaunulla